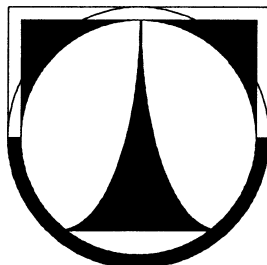


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motor



IDENTIFIKACE VLASTNOSTÍ PNEUMATIK

IDENTIFICATION OF TIRE PROPERTIES

Bakalářská práce

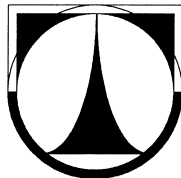
Linda Hulínská

Kv ten 2010

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motor



Studijní program B2341 - Strojírenství

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

IDENTIFIKACE VLASTNOSTÍ PNEUMATIK

IDENTIFICATION OF TIRE PROPERTIES

Bakalářská práce

KVM – BP – 201

Linda Hulínská

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Malý Miroslav, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Voženílek Robert

Počet stran: 51

Počet stran příloh: 9

Počet obrázků: 25

Počet tabulek: 6

Květen 2010

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

IDENTIFIKACE VLASTNOSTÍ PNEUMATIK

Anotace

Tato bakalářská práce je věnována problematice otisků pneumatik. Jelikož je plocha styku pneumatiky a vozovky jedním z nejdůležitějších prvků ovlivňujících jízdní vlastnosti, je důležité znát její optimální rozměry, tvar a chování za určitých podmínek. První část práce se zabývá souhrnným popisem o výrobě pneumatik, jejich rozměrech a základnímu rozdělení. Ve druhé části následuje popis zkoušek pneumatik, které rozdělujeme na zkoušky laboratorní a zkoušky na reálné vozovce. V této části práce pak popisuje samotnou zkoušku otiskem, která byla prováděna v laboratorní příslušenství vozidel na Technické universitě v Liberci, na přístroji pro experimentální výzkum nových systémů řízení vozidla typu by-wire, při natáčení se kole. Při této zkoušce se posuzoval otisk těchto různých pneumatik na pevnou podložku, v závislosti na různých velikostech zatížení a hustotě těchto pneumatik. V poslední části je pomocí výsledků z této zkoušky otiskem, navržen vzorec pro vratný moment navržený Doc. Ing. estmírem Šalamounem, CSc.

Klíčová slova: pneumatika, zkoušky pneumatik, zkouška otiskem, kontaktní plocha, tlak hustoty

IDENTIFICATION OF TIRE PROPERTIES

Annotation

This thesis is devoted to the contact patch. The contact patch of the tire and pavement is one of the most important elements biasing driveability, it is important to know the optimum size, shape and behavior under certain conditions. The first part deals with the general description of the manufacture of tires, their dimensions and basic distribution. In the second part follows the story of testing the tires, which can be divided into laboratory tests and tests on real roads. Greater part of the thesis describes the separate examination per contra, which were conducted in laboratory equipment of vehicles at the Technical university in Liberec, the apparatus for experimental research of new systems, directional control of the vehicle by-wire type, at no revolving wheel. For this test was assessed three different tires on a solid surface, in depending on the various sizes load and inflation pressure of tires. The last part is using the results of this examination per contra to checked formula of restoring moment proposed by Doc. Ing. estmír Šalamoun, CSc.

Key words: tyre, tire testing, examination per contra, contact patch, pressure indoctrination

Prohlášení k využívání výsledk diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Berou na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....
podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Miroslavu Malému, CSc. a konzultantovi bakalářské práce Ing. Robertu Voženílkovi za poskytnutí mých podkladů a cenných rad pro vyhotovení práce.

Symbolicky také děkuji rodičům a přátelům, kteří mě podporovali při zhotovení bakalářské práce.

Seznam symbolů a jednotek

| | | |
|-------------------|----------------------------------------------|------|
| A | vnější průměr pneumatiky | [mm] |
| B | šířka pruhu pneumatiky | [mm] |
| B_{\max} | maximální pracovní šířka pneumatiky | [mm] |
| b_p | maximální šířka styku pneumatiky s vozovkou | [m] |
| b_{pp} | naměřená (praktická) šířka otisku | [m] |
| b_{pt} | vypočtená (teoretická) šířka otisku | [m] |
| d_p | maximální délka styku pneumatiky s vozovkou | [m] |
| d_{pp} | naměřená (praktická) délka otisku | [m] |
| d_{pt} | vypočtená (teoretická) délka otisku | [m] |
| d_0 | průměr ráfku | [mm] |
| F_v | boční síla | [N] |
| F_z | zatížení pneumatiky | [N] |
| H | výška pruhu pneumatiky | [mm] |
| M_v | vratný moment | [Nm] |
| M_{vp} | praktický vratný moment | [Nm] |
| M_{vt} | teoretický vratný moment | [Nm] |
| O_k | odvalený obvod pneumatiky | [mm] |
| p_{pneu} | tlak huštění pneumatiky | [Pa] |
| r_s | Statický poloměr pneumatiky | [mm] |
| | profil pneumatiky | [%] |
| μ | součinitel tření mezi pneumatikou a vozovkou | [-] |

Obsah

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 ÚVOD..... | 10 |
| 1.1 Výroba pneumatik..... | 10 |
| 1.2 Konstrukce pneumatik..... | 11 |
| 1.3 Rozměry pneumatik..... | 12 |
| 1.4 Značení pneumatik..... | 13 |
| 1.5 Rozdělení pneumatik..... | 16 |
| 2 ZKOUŠKY PNEUMATIK..... | 18 |
| 2.1 Laboratorní zkoušky..... | 18 |
| 2.1.1 Statické zkoušky..... | 18 |
| 2.1.2 Dynamické zkoušky..... | 20 |
| 2.2 Zkoušky na reálné vozovce..... | 21 |
| 2.2.1 Zkoušky na dynamometrickém povrchu..... | 22 |
| 2.2.2 Zkoušky na vozidle..... | 22 |
| 3 ZKOUŠKA OTISKEM..... | 24 |
| 3.1 Popis měřicího přístroje..... | 24 |
| 3.2 Popis zkoušky otiskem..... | 25 |
| 3.2.1 Zadané parametry zkoušky..... | 25 |
| 3.2.2 Postup měření..... | 27 |
| 3.3 Rozložení tlaku v ploše otisku pneumatiky..... | 29 |
| 3.4 Vyhodnocení naměřených otisků..... | 32 |
| 3.4.1 Obecný rozbor naměřených hodnot..... | 35 |
| 3.4.2 Plochy pneumatiky s průměrem ráfku 14 palců..... | 36 |
| 3.4.3 Plochy pneumatiky s průměrem ráfku 15 palců..... | 39 |
| 3.4.4 Plochy pneumatiky s průměrem ráfku 16 palců..... | 40 |
| 3.4.5 Otisky dezénu..... | 42 |
| 3.5 Ověření matematického vztahu podle Doc. Ing. Šestmíra Šalamouna, CSc. pro výpočet vratného momentu..... | 43 |
| 4 ZÁVĚR..... | 48 |
| 5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 51 |
| 6 PŘÍLOHY | |

1 ÚVOD

Kola a pneumatiky jsou prvkem, který zprostředkovává styk vozidla s vozovkou a transformuje její rotační pohyb na posuvný pohyb automobilu. Přenášejí všechny síly od tíhy vozidla, dále pak hnací, brzdící a boční síly. Pneumatika také velkým dílem ovlivňuje přesnost řízení automobilu. Musí stabilně vést automobil po dráze dané směrem bez ohledu na stav vozovky i klimatické podmínky. Základně ovlivňuje brzdnou dráhu, odpružení a stabilitu automobilu. Pro splnění všech těchto požadavků musí být pneumatika dostatečně ohebná a pružná, ale také naopak musí udržovat svůj konstantní rozměr.

Roku 1888 byl vydán první patent na moderní vzduchem plněnou pneumatiku, vynalezenou Johnem B. Dunlopem. Prvotní pláště byly velice úzké, a až v pozdější době dostaly tzv. Balónový tvar. V roce 1892 J. F. Palmer vymyslel k řízení výztužný materiál za kordovou tkaninu. Další událostí tohoto roku byl vývoj pneumatiky Runflat, kterou vynalezl John F. Seiberling. Jedná se o pneumatiky s vyztuženými bořnicemi, které jsou schopné při defektu, nebo ztrátě tlaku v pneumatice nést váhu vozidla a mohou tak, i přes poškození po nějakou dobu pokračovat v jízdě. Spolu s těmito pneumatikami je nezbytný palubní systém TPMS, monitorující tlak v pneumatikách. Nevýhodou těchto pneumatik je větší hmotnost a valivý odpor. Dalšími roky prošly pneumatiky složitým vývojem od materiálů až po samotnou konstrukci. Teprve roku 1904 byly pneumatiky opatřeny břitovými hřebíky. Po roce 1935 už můžeme mluvit o moderních pneumatikách, na kterých však ještě probíhala ještě mnoha zdokonalení pro zlepšení vlastností. Vývoj přinesl hlavně nízkoprofilové a bezdušové pneumatiky. První česká pneumatika byla vyrobena Tomášem Baťou ve Zlíně roku 1932.

V dnešní době je možnost výběru z mnoha rozličných kvalitních konstrukcí a druhů pneumatik zastoupených mnoha výrobci jako je například Dunlop, Pirelli, Goodyear, Michelin, Matador a dalších.

1.1 Výroba pneumatik

Technologie výroby pneumatik prošla dlouhým vývojem. Hlavním materiálem je kaučuk, který tvoří až 40%, s chemikáliemi podporujícími vulkanizaci. Zbytek materiálu tvoří plnidla (sloučeniny uhlíku, saze, silika, křída), změkčovač (oleje, pryskyřice) a výztuhy z kordových vložek (vlákna z bavlny, nylonu nebo oceli). Chemická směs se liší podle výrobce, rovněž je také pro zimní a letní pneumatiky.

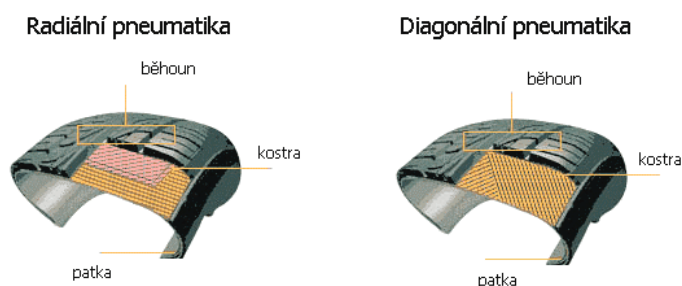
Zimní pneumatiky disponují chemickým složením, které umožňuje, aby pneumatika měla stabilní vlastnosti i za nízkých teplot.

Celá technologie výroby pláště je rozdělena na několik samostatných částí, a to například kaučukových směsí, pogumovaného kordu, výroba běhounů a bočnic, výroba patních lan a nárazníků. Po zkompletování všech těchto částí vzniká surový plášť, který je ještě potřeba zvulkanizovat v lisu. Pneumatika jako vláknový kompozit tak dosáhne, propojením všech částí, svých konečných vlastností.

1.2 Konstrukce pneumatik

Pneumatika, nasazená na ráfek kola se skládá z pěti částí.

Hlavní částí je *kostra*, která určuje nosnost a druh, její stavba a složení určují základní vlastnosti pláště. Je tvořená z vložek z kordových vláken, která mohou být uspořádána jako *radiální* nebo *diagonální*. Radiální mají kordy vedeny kolmo na rovinu rotace kola, oproti diagonálním lépe zachytávají boční síly, a v důsledku existence nárazníku u této konstrukce mají větší obvodovou tuhost. To dává takovýmto pneumatikám vlastnosti jako je lepší adheze, vyšší životnost a nižší valivý odpor. Na druhou stranu také hlučnost a citlivost na nesprávné huštění. U diagonálních jsou kordy vedeny střídavě křížem přes sebe od jednoho patkového lana k druhému. Koncem sedmdesátých let však začala jejich výroba stagnovat, hlavně z důvodu velkého vývinu tepla pneumatiky, dané namáháním konstrukce na stíhání jízd. A to i přes menší nákladnost výroby oproti radiálním. Přechod mezi radiální a diagonální konstrukcí jsou konstrukce *semiradiální*. Jsou to vlastně pláště s diagonální kostrou opásanou nárazníkem.



Obr. 1.1 Konstrukce radiální a diagonální pneumatiky [19]

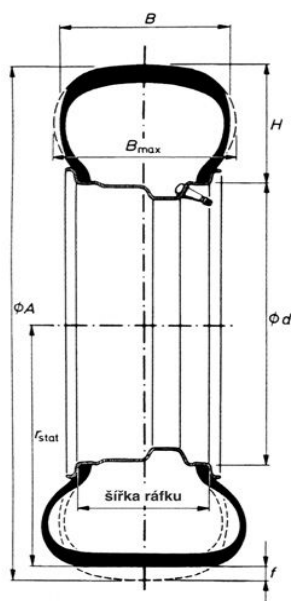
Další částí jsou *patka* s *výztužným patním lanem*. Patní lano zajišťuje správné nasazení na ráfek, těsnost a přilnavost pneumatiky k ráfku. Patka zase působí všechny potřebné síly vznikající mezi ráfkem a pláštěm.

Dále jsou tu *bořnice*, které slouží jako ochrana kostry před vnějšími vlivy. Jsou velice ohebné. Do kaučukové směsi bořnice je nutné přidávat různé antioxidanty a antiozonanty pro zabránění stárnutí vlivem kyslíku přítomného ve vzduchu v pneumatice jako hustící médium.

Mezi kostrou pneumatiky a b hounem je *nárazník*. Slouží pro stabilizaci b hounu a ochranu kostry, má značný vliv na velikost valivého odporu.

Jako poslední část je *b houn*. Je to část pneumatiky z tlusté vrstvy gumy, která je v přímém styku s vozovkou a je opatřena vzorkem – dezénem. Tvar dezénu se optimalizuje pro co nejvyšší přilnavost pneumatiky k různým povrchům vozovek.

1.3 Rozměry pneumatik



Obr. 1.2 Rozměry pneumatiky: d_0 - průměr ráfku, A - vnější průměr pneumatiky, B - šířka přezu pneumatiky, H - výška přezu pneumatiky, B_{max} - maximální pracovní šířka pneumatiky [8]

Vnější průměr pneumatiky A

Je vzdálenost dvou rovnoběžných rovin dotýkajících se vnějšího povrchu nezátížené pneumatiky.

Šířka pneumatiky B

Základní zna ení:

225/55 R16 95W

225 Ší ka pneumatiky B [mm]

55 Profil [%]

R Konstrukce kostry (radiální)

16 Jmenovitý pr m r ráfku (v palcích)

95 Index nosnosti (Load Index)

Ur itý symbol ozna ující maximální nosnost pneumatiky p i maximální rychlosti, ur enou symbolem kategorie rychlosti a p edepsaném tlaku hušt ní. P i vyšších rychlostech se nosnost pneumatiky zmenšuje.

| LI | Hmotnost vozidla | LI | Hmotnost vozidla | LI | Hmotnost vozidla | LI | Hmotnost vozidla |
|----|------------------|----|------------------|-----|------------------|-----|------------------|
| 50 | 634 kg | 73 | 1217 kg | 96 | 2367 kg | 118 | 4400 kg |
| 51 | 650 kg | 74 | 1250 kg | 97 | 2434 kg | 119 | 4534 kg |
| 52 | 667 kg | 75 | 1290 kg | 98 | 2500 kg | 120 | 4667 kg |
| 53 | 687 kg | 76 | 1334 kg | 99 | 2584 kg | 121 | 4834 kg |
| 54 | 707 kg | 77 | 1374 kg | 100 | 2667 kg | 122 | 5000 kg |
| 55 | 727 kg | 78 | 1417 kg | 101 | 2750 kg | 123 | 5167 kg |
| 56 | 747 kg | 79 | 1457 kg | 102 | 2834 kg | 124 | 5334 kg |
| 57 | 767 kg | 80 | 1500 kg | 103 | 2917 kg | 125 | 5500 kg |
| 58 | 787 kg | 81 | 1540 kg | 104 | 3000 kg | 126 | 5667 kg |
| 59 | 810 kg | 82 | 1584 kg | 105 | 3084 kg | 127 | 5834 kg |
| 60 | 834 kg | 83 | 1624 kg | 106 | 3167 kg | 128 | 6000 kg |
| 61 | 857 kg | 84 | 1667 kg | 107 | 3250 kg | 129 | 6167 kg |
| 62 | 884 kg | 85 | 1717 kg | 108 | 3334 kg | 130 | 6334 kg |
| 63 | 907 kg | 86 | 1767 kg | 109 | 3434 kg | 131 | 6500 kg |
| 64 | 934 kg | 87 | 1817 kg | 110 | 3534 kg | 132 | 6667 kg |
| 65 | 967 kg | 88 | 1867 kg | 111 | 3634 kg | 133 | 6867 kg |
| 66 | 1000 kg | 89 | 1934 kg | 112 | 3734 kg | 134 | 7067 kg |
| 67 | 1024 kg | 90 | 2000 kg | 113 | 3834 kg | 135 | 7267 kg |
| 68 | 1050 kg | 91 | 2050 kg | 114 | 3934 kg | 136 | 7467 kg |
| 69 | 1084 kg | 92 | 2100 kg | 115 | 4050 kg | 137 | 7667 kg |
| 70 | 1117 kg | 93 | 2167 kg | 116 | 4167 kg | 138 | 7867 kg |
| 71 | 1150 kg | 94 | 2234 kg | 117 | 4284 kg | 139 | 8100 kg |
| 72 | 1184 kg | 95 | 2300 kg | | | | |

Tab. 1.1. Tabulka zna ení index rychlosti, LI = Load Index [16]

W Kategorie rychlosti

Je písmeno nebo kombinace písmena a ísla, které ozna uje maximální rychlost, p i které je pneumatika schopna nést hmotnost danou indexem nosnosti za daných specifických podmínek.

Pro ur ité vozidlo je možné použít jen takové pneumatiky, které mají kategorii rychlosti stejnou nebo vyšší, než jaká je uvedena v technické dokumentaci vozidla.

| SI | L | M | N | P | Q | R | S | T | U | H | V | W | Y | ZR |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Max. rychlost [km/hod] | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 240 | 270 | 300 | >240 |

Tab. 1.2. Tabulka zna ení kategorií rychlostí [16]

Dopl ující zna ení:

TUBELESS/ TUBE TYPE

Bezdušová / dušová pneumatika

RF (REINFORCED)

Zesílená kostra

M + S (MUD + SNOW)

Pneumatika ur ená pro zimní provoz

FR

Ochrana alu ráfku p ed poškozením p i najetí k obrubníku

TWI (TREAD WEAR INDICATOR)

Indikátor opot ebení, který zna í minimální p ípustnou výšku vzorku pneumatiky

Datum výroby pneumatiky

Ozna ení výrobce

Výrobce vozidla a výrobce pneumatik ur ují jaký druh pneumatik má být pro dané vozidlo použit, a zároveň stanovuje alternativní rozm r. Dosažení nejlepších jízdních vlastností a stability automobilu je možné jedin se správnými velikostmi pneumatik pro ur itý automobil. Na jedné náprav se sm jí použít jen pneumatiky naprosto stejné. Na celém automobilu pak sm jí být jen pneumatiky stejných rozm r a konstrukce.

Každý druh pneumatiky má také výrobcem daný správný tlak vzduchu. P i špatném hušt ní pneumatik se snižuje jejich životnost a zhoršují se jízdní vlastnosti.

| CORRESPONDING PASSENGER CAR TYRE DIAMETERS | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------|
| -1...+2%, FROM THE BOLDED TYRE SIZE | | | | | | | | | |
| 80 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 |
| 145/80R12 | 165/70R12 | 165/65R13 | 175/60R13 | 185/55R14 | | | | | |
| 155/80R12 | 175/70R12 | | 185/60R13 | 185/55R14 | | | | | |
| 135/80R13 | 155/70R13 | 165/65R13 | 165/60R14 | | | | | | |
| 145/80R13 | 165/70R13 | 165/65R14 | 175/60R14 | 185/55R14 185/55R14 | 205/50R14 | 195/45R15 | | | |
| 155/80R13 | 175/70R13 155/70R14 | 175/65R14 | 185/60R14 205/60R13 | 185/55R14 | 195/50R15 | 215/45R15 | 215/40R16 | | |
| 165/80R13 | 185/70R13 165/70R14 | 185/65R14 | 195/60R14 | 185/55R15 195/55R15 | 205/50R15 215/50R15 | 205/45R16 | 225/40R16 205/40R16 | 225/35R17 | |
| 175/80R13 | 195/70R13 | 195/65R14 | 205/60R14 | 225/55R14 | 215/50R15 | 245/45R15 | 255/40R16 | 245/35R17 | |
| 155/80R14 | 175/70R14 155/70R15 | 175/65R15 | 215/60R14 | 205/55R15 | 225/50R15 | 215/45R16 | 215/40R17 | 225/35R17 | |
| 165/80R14 | 185/70R14 165/70R15 | 185/65R15 | 215/60R14 195/60R15 | 215/55R15 | 205/50R16 215/60R16 | 255/45R15 205/45R17 | 235/40R17 245/40R17 | 265/35R17 275/35R17 225/35R18 | |
| 175/80R14 | 195/70R14 155/70R15 | 195/65R15 | 205/60R15 | 225/55R15 205/55R16 | 245/50R15 225/50R16 | 225/45R17 245/45R16 215/45R17 | 255/40R17 225/40R18 | 245/35R18 255/35R18 | 285/30R18 |
| 185/80R14 | 205/70R14 | 205/65R15 | 215/60R15 | 235/55R15 | 235/50R16 | 235/45R17 | 265/40R17 | 315/35R17 | 315/30R18 |
| 165/80R15 | 185/70R15 | | | 215/55R16 | 245/50R16 | 245/45R17 | 235/40R18 | 275/35R18 | 275/30R19 |
| 195/80R14 | 215/70R14 | 215/65R15 | 225/60R15 | 225/55R16 | 285/50R15 | 245/45R17 | 285/40R17 | 335/35R17 | 335/30R18 |
| 175/80R15 | | | 235/60R15 | | 245/50R16 255/50R16 | 255/45R17 | 255/40R18 | 295/35R18 | |
| 185/80R14 | 195/70R15 | 215/65R15 | 225/60R15 | 225/55R16 | 245/50R16 225/50R17 | 245/45R17 | 275/40R17 | 315/35R17 285/35R18 245/35R19 | 335/30R18 |
| 185/80R15 | 225/70R14 205/70R15 | 225/65R15 205/65R16 | 225/60R16 | 245/55R16 225/55R17 | 265/50R16 245/50R17 | 245/45R18 | 295/40R17 265/40R18 | 335/35R17 | 285/30R20 |
| 195/80R15 | 235/70R14 215/70R15 | 215/65R16 | 255/60R15 235/60R16 | 235/55R17 | 305/50R15 255/50R17 235/50R18 | 255/45R18 | 255/40R19 | 295/35R19 255/35R20 | |
| 205/80R16 205R16 | 235/70R16 235/75R15 | 255/65R16 | 255/60R17 | 275/55R17 255/55R18 | | | | | |

(82 series sizes 145R13, 155R13, etc. see 80 series)

nokian
TYRES

Obr. 1.4 Tabulka rozd lení rozm r pneumatik podle p íslušejícím profilu pneumatiky [18]

Tabulka zobrazuje seznam rozm r pneumatik se azených podle velikosti profil 30% – 80%. Slouží pro ur ení rozm r nových pneumatik, p í jejich vým n za jiné než jaké jsou doporu ené výrobcem pro ur itý automobil. Nutné je dodržet p íbližn stejný obvod pneumatik. Vychází se z p vodního rozm ru pneumatiky a sm rem doprava v ádku tabulky na obrázku 1.2 je možné vybrat jiný vhodný rozm r pneumatiky.

1.5 Rozd lení pneumatik

Hlavní rozd lení pneumatik je na *zimní*, *letní* a *celoro ní*. Dále rozeznáváme pneumatiky pro osobní a nákladní automobily, autobusy, kamiony, letadla a stavební stroje.

Jedním z rozd lení je na pneumatiky *dušové* a *bezdušové*. V bezdušových plní funkci duše vnit ní guma v pneumatice (vnit ní pogumování), která brání úniku vzduchu z pneumatiky a ráčku.

Rozdílné jsou taky plyny kterými se pneumatiky hustí. B žné pneumatiky jsou *pln né vzduchem*, avšak moderní vývoj p inesl *pln ní sm sí dusíku*. Dusík totiž

nezpůsobuje stárnutí pryže, lépe tlumí rázy, a při jízdě se pomaleji ohřívá. Velice důležitou vlastností je také, že při změně teploty směsí dusíku nemění svůj objem v takové míře jako je tomu u vzduchu.

Mezi další skupiny rozdělění patří rozdělění *podle tvaru dezénu*. Dezén pneumatik je soustava drážek a lamel po obvodu pneumatiky. Skladba dezénu má velký vliv na velikosti hluku při jízdě a vzniku aquaplaningu - ztrát přilnavosti na mokré vozovce. Rozlišujeme tři základní tvary dezénu:

Symetrický - obě poloviny pneumatiky mají stejný design, *symetrický* - v tšinou šípový dezén, u kterého je potřeba při montáži dodržet správný směr, vzorek umožňuje rychlejší akceleraci a kratší brzdovou dráhu, a *asymetrický* - je rozdělený na části, z nichž každá plní při jízdě určitou funkci. Na vnější části je vzorek vyvinutý speciálně pro větší stabilitu při jízdě zatáčkou.

Poměr mezi výškou a šířkou pneumatiky ($H : B$), který rozhoduje jestli je pneumatika *azena* mezi *standardní* nebo *nízkoprofilové*. Standardní pneumatiky, kde poměr výšky a šířky je mezi 65 a 80%, mají zpravidla menší šířku a menší odpor valení, což vede ke snížení provozních nákladů. Pohlcují také lépe nerovnosti silnice a vzniká u nich méně nebezpečí vzniku aquaplaningu. Na suché, kvalitní vozovce disponují lepšími vlastnostmi nízkoprofilové pneumatiky s poměrem mezi 30 a 65%. Přenášejí lépe hnací a brzdící síly a mají vyšší tuhost. Mají ale sníženou schopnost pohlcovat nerovnosti a tím se snižuje jízdní komfort

2 ZKOUŠKY PNEUMATIK

Jelikož je pneumatika důležitým prvkem řízení vozidla je nutné znát u každé její vlastnosti a chování v provozu.

První zkoušky jsou prováděny už v průběhu výroby pneumatiky, kde se kontrolují chemikálie a různé komponenty. Dále jsou, po z vulkanizování, všechny pláště dopraveny na pracoviště kontroly. Zde se provádí zkoušky *na výstupní kontrole pláště*, prováděné na každém plášti. Mezi ně patříme *zkoušky vzhledu pláště*, *rentgenem*, *obvodové nerovnoměrnosti*, *nevyváženosti*. Zvlášť se ještě testují náhodně vybrané vzorky pláště. Nejdůležitější je *zkouška řezu pláště*. Po rozříznutí vzorku následuje kontrola rozměrů, například tloušťka bočnice, zakotvení, hmotnosti, uložení nárazníku.

Zkoušky komplexních pneumatik rozdělujeme na *zkoušky laboratorní* a *zkoušky prováděné na reálné vozovce*.

Jelikož po celém světě existuje mnoho výrobců pneumatik, kteří mají své vlastní nároky a postupy pro testování, není popis zkoušek úplný.

2.1 Laboratorní zkoušky

Laboratorní zkoušky, při nichž se prověřují funkční vlastnosti, pevnost a životnost pneumatik, se dále dělí na *dynamické* a *statické zkoušky*. V druhém případě nedochází k destrukci pneumatiky.

Před začátkem každé laboratorní zkoušky musí každá pneumatika projít přípravnými postupy, které mohou trvat až několik dní. Tyto postupy se provádějí pro snížení vnitřního pnutí pneumatiky. Jsou také důležité pro dokončení spojení chemických vazeb mezi materiály pneumatiky a odstranění silikonových přípravků z stávajících na povrchu pneumatik po vulkanizaci. Přípravné postupy jsou různé podle druhu následné zkoušky a jsou to: *kondicionování*, *stabilizace pneumatik zajižděním a zajiždění pneumatik na vozidle*.

2.1.1 Statické zkoušky

Druhy statických zkoušek:

- *Hmotnosti*
- *Rozměr*
- *Vnitřního objemu*

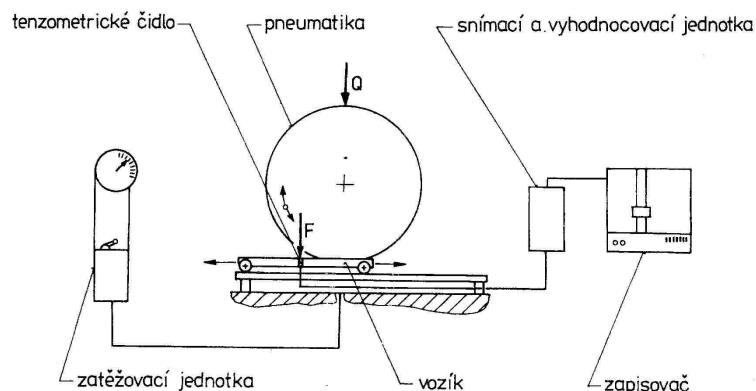
- Absolutní pevnosti
- Radiální tuhosti patek plášť
- Odolnost proti protlačování trnu
- Otisku
- Radiální, boční, obvodové a torzní tuhosti
- Měrného tlaku ve stop

V případě použití vhodného zařízení je možné poslední tři zde vypsané zkoušky provést na jednom přístroji, jelikož tyto parametry pneumatik spolu úzce souvisí. Zkouškou se, při různých velikostech zatížení a huštění pneumatiky, posuzují tzv. statické charakteristiky.

Při zkoušce otisku měření spoívá ve zjištění velikosti a tvaru dotkových ploch při stojícím nebo se otáčejícím kole. Je také možné měnit materiál a tvar podložky (rovná podložka, hrbol, prohlube), kterou je vyvoláváno radiální zatížení pneumatiky. Současně lze pomocí tlakových čidel umístěných v podložce pod pneumatikou měřit rozložení tlaku v tomto otisku.

Zkouška otiskem je náplní praktické části této práce a podrobný popis zkoušky tak následuje ve zbylé části.

Při zkoušce radiální, boční, obvodové a torzní tuhosti se za působení radiální nebo boční zatěžovací síly měří velikost vzniklé deformace pneumatiky. Přístroj snímá změnu vzdálenosti osy pneumatiky od oporné plochy nebo vybočení středu kola a tuto deformaci zapisuje pomocí deformací křivky. Vše je také zaznamenáváno počítačem.



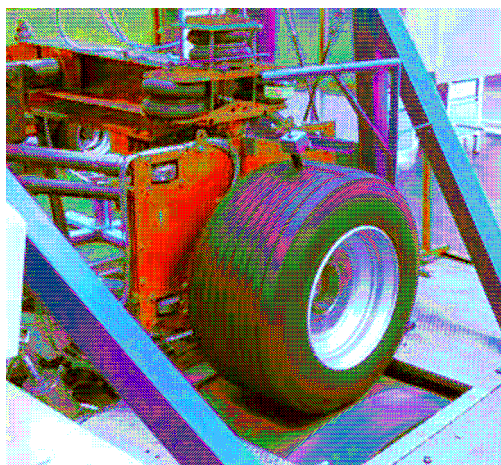
Obr. 2.1 Zařízení na měření měrného tlaku ve stopě. Tlak je snímán pomocí tenzometrického čidla a je vyhodnocován snímací jednotkou. [1]

2.1.2 Dynamické zkoušky

Tyto zkoušky jsou prováděny na speciálních bubnových zařízeních. Pneumatika je nahuštěna na předepsaný tlak, a je pitlována, silou nejvyšší v tísni než je síla za reálného provozu, na elektromotorem poháněný ocelový buben, který se otáčí a nahrazuje tak vozovku. Bubny mohou být bu s pekáčkami nebo bez pekáček. Pekáčky se používají pro zvýšení namáhání pneumatik. Používají se také bubny s vnitřní pracovní plochou o průměru 5m, nebo tenkostěnné ocelové pásy. Bubny mohou být uloženy v různých klimatických komorách, kde lze měnit vlhkost, teplotu, prašnost. Také je možná imitace zledovatělé vozovky, vodní vrstvy a dalších možných situací, kterým může být pneumatika vystavena. Parametry potíbné pro měření jako jsou zatížení kol, huštění pneumatik, úhel skluzu a úhel odklonu kola, lze bu upravit ručně nebo pomocí integrovaného počítačového systému. Součástí měřicího systému jsou také senzory pro sledování teploty pneumatik během testování. Celý měřicí proces je samozřejmě možné sledovat na kontrolním monitoru.

Zkouškou nejvyšší zjistíme dobu nebo dráhu, za které vznikne první viditelná trhлина na pneumatice. Respektive zjistíme nejslabší láněk struktury pneumatiky, který je příčinou poruchy.

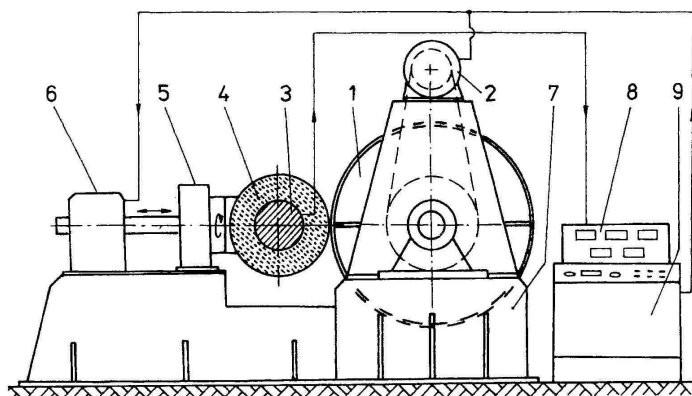
Všechny zkoušky prováděny na těchto strojích mohou být mezi sebou porovnatelné, jelikož zkušební stroje vyrábí jen několik výrobců po celém světě.



Obr. 2.3 Testovací zařízení pro pneumatiky osobních i nákladních automobilů používané na německé univerzitě RWTH Aachen, Faculty of Mechanical Engineering, s průměrem bubnu $D = 2540$ mm, maximálním zatížením kol $F = 40$ kN, maximální obvodovou rychlostí $v = 120$ km/h (33,3 m/s) a s nastavitelným huštěním pneumatik od 1 do 10 bar (0,1 – 1 MPa) [6]

Druhy dynamických zkoušek:

- Valivého poloměru
- Životnosti
- Funkčních vlastností
- Valivého odporu
- Destrukční rychlosti
- Obvodové nerovnoměrnosti
- Hluku
- Vývinu teplot v pneumatice
- Tuhosti za rotace v radiálním směru
- Útlumu pneumatiky



Obr. 2.5 Schéma bubnové zkušebny s multi-komponentní hlavou: 1 - válcový buben; 2 - pohon bubnu; 3 - multi-komponentní hlava; 4 - zkoušená pneumatika; 5 - zařízení pro nastavení odklonu a směrové úchylny; 6 - radiální zatěžování kola; 7 - stojan; 8 - elektronika multi-komponentní hlavy; 9 - regulace a řízení [1]

2.2 Zkoušky na reálné vozovce

Jelikož pneumatika má v důsledku jiné silové poměry ve styku se zkušebním bubnem a ani opotřebení neodpovídá dostatečně reálnému provozu, provádí se ještě zkoušky na reálné vozovce. Hlavním důvodem je také styk pneumatiky s bubnem, který je za první válcový a za druhé mnohem kratší než ve styku s vozovkou. Dále bývá problém s nároky na uložení bubnů a jejich pohon.

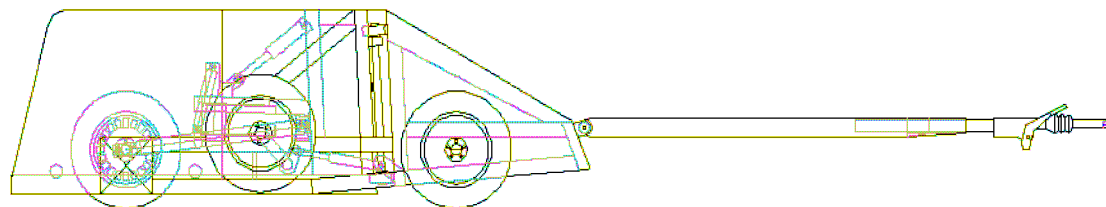
Pneumatika je při zkouškách na reálné vozovce připevněna na vozidlo nebo na speciální dynamometrické píky. Obecně u těchto zkoušek ověřujeme nové technologie výroby, životnost nebo chování pneumatiky za speciálních podmínek v provozu.

2.2.1 Zkoušky na dynamometrickém p ív su

Dynamometrický p ív s je m ící za ízení v podob p ív su za automobil, které p ítla uje pneumatiku k vozovce. Za jízdy m í reak ní síly mezi pneumatikou a vozovkou, dále také velikost hluku vydávaný pneumatikou. P ív s je tažen vozidlem s p íslušným výkonem, pro zajištění pot ebné rychlosti p ív su a rovnom rnosti jízdy. Obecn má dv nápravy. Výška zadní nápravy nad vozovkou m že být v pr b hu m ení hydraulicky m n na, stejn jako výška m eného kola, což umož ůuje m ít pneumatiky v široké škále rozm r . Síly jsou m eny pomocí sníma ů nebo tenzometricky pomocí tzv. vícekomponentních hlav, využívajících princip dynamiky. Pro m ení hluku je pneumatika napojena na po íta ě a ve své blízkosti má namontované mikrofony.

Druhy zkoušek na dynamometrickém p ív su:

- *Životnosti*
- *Adhezí v p í ním a podélném sm ru*
- *Hluku*



Obr. 2.8 Za ízení pro m ení hluku HUT NOTRA používané ve Finsku na University of Technology, Helsinky. M ení hluku pomocí hlukového p ív su se nazývá CPX metoda. Metodou je možné m ít pouze hluk zp sobený odvalováním pneumatiky, neberou se v úvahu akustické vlastnosti vozovky. P í ur ité rychlosti se m í pr m rná hladina akustického tlaku za každých dvacet metr ů odjetého úseku. Celá zkouška se provádí p í jízd v p ímém sm ru. [17]

2.2.2 Zkoušky na vozidle

Zkoušky na vozidle rozd lujeme ješt jako objektivní a subjektivní.

Subjektivní zkoušky jsou takové, kde kone né vyhodnocení záleží na zkušebním technikovi, který ohodnocuje výsledky zkoušek slovn ě nebo podle ur ité stupnice. Pro tyto zkoušky je vybrána známá pneumatika jako etalon se 100% vlastnostmi a ostatní zkoušené pneumatiky se k ní vztahují. Každá zkušebna má vyhrazené zkušební úseky vozovek nebo drah, a taktéž r zné

metody provádění zkoušek. Zkušební dráhy se skládají z několika zkušebních úseků, jako jsou kruhové a rychlostní části, zatáčky, okružní okruhy, okruhy pro měření jízdního pohodlí, velká stoupání. Také speciální vozovky z asfaltu, betonu, dlažky až po bažinaté úseky a části drah s různou velkou tloušťkou vodní vrstvy pro testy aquaplaningu. Součástí těchto polygonů bývají i laboratoře.

Objektivní zkoušky se vztahují k příslušným normám SN, ISO ve kterých jsou stanoveny manévry testující říditelnost a stabilitu vozidla.

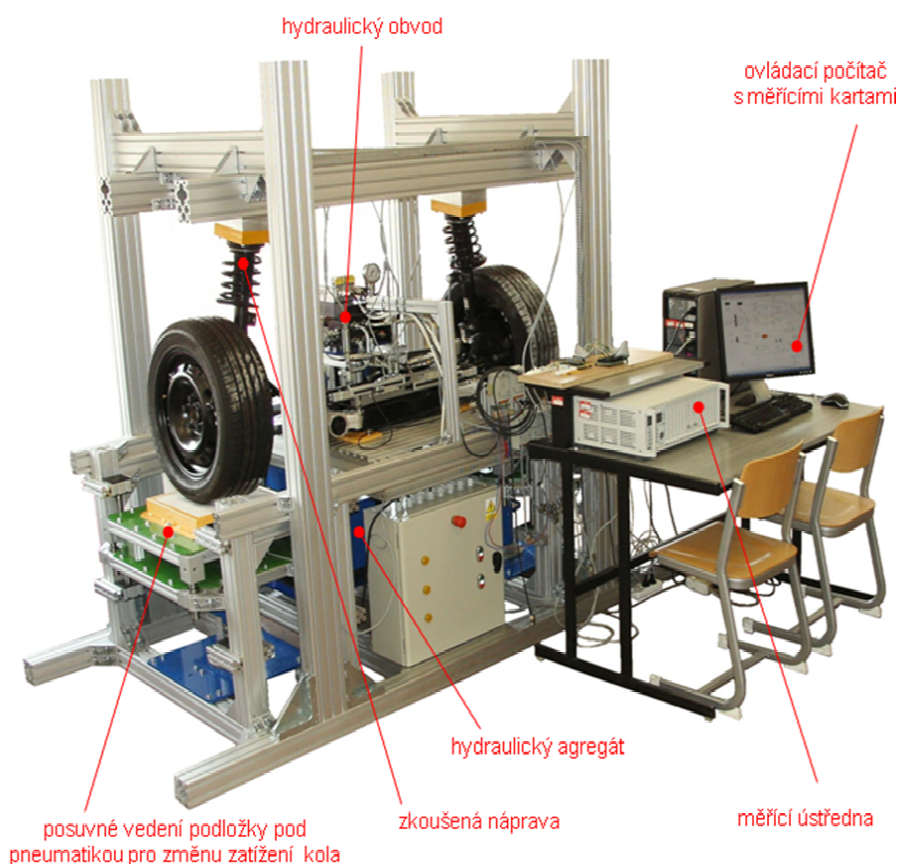
Druhy zkoušek na vozidle:

- *Brzdných vlastností s ABS a bez ABS*
- *Říditelnosti, ovladatelnosti a stability*
- *Kmitání kol a přenosu vibrací*
- *Aquaplaningu v příčném a podélném směru*
- *Hluku*
- *Pohodlí*
- *Životnosti*
- *Vlivu pneumatik na spotřebu vozidla*

3 ZKOUŠKA OTISKEM

3.1 Popis měřicího přístroje

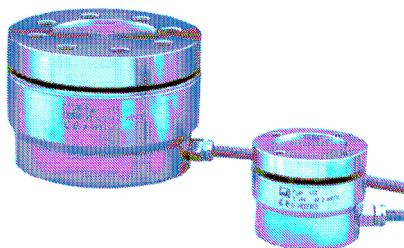
Zkouška otiskem byla prováděna v laboratoři poskytl služeb vozidel na Technické universitě v Liberci, poskytl služeb katedra motor a vozidel. Zkušební zařízení, na kterém byly pneumatiky testovány, bylo vyvinuté technickou univerzitou v Liberci zejména pro experimentální výzkum nových systémů rovného řízení vozidla typu by-wire při neotáčejícím se kole. Na přístroji je také možné zkoušet různé typy pneumatik, proměnlivé hustoty pneumatik, nastavení geometrie náprav a jejich konstrukční provedení.



Obr. 3.1 Zkušební stanoviště pro experimentální výzkum nových systémů rovného řízení vozidla typu by-wire vyvinuté technickou univerzitou v Liberci

Zařízení se skládá z pevného hliníkového rámu, ve kterém je simulována přední náprava osobního vozu. Zavěšení kol, vetknuté v rámu, je typu McPherson. Celá konstrukce zařízení lze však přizpůsobit pro různé nápravy automobilů a pneumatik. Pod koly je výsuvná podložka s výměnným povrchem, pomocí které je možné vyvolat potřebné zatížení pneumatiky ve vertikálním směru. Výměnný

povrch podložky umožňuje testování interakce pneumatiky s povrchy o r zném souiniteli adheze (například beton nebo led). Výsuvná podložka pro změnu zatížení kola je ovládána přes hydraulický obvod hydraulickým agregátem. V podložce je zabudován robustní snímač síly U3, který snímá nastavené zatížení pneumatiky. Měřená data se ze snímače přenášejí přes měřicí ústřednu - měřicí zesilovač MGCplus, který monitoruje probíhající měření, do ovládacího počítače s měřicími kartami. V počítači se měřená data pomocí softwaru catman®Easy (určený pro podporu měřících zesilovačů a ústředny) vyhodnocují. Celý systém měřicí sestavy pochází od firmy HBM měřicí technika s.r.o. (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH).



Obr. 3.2 Robustní tlakový snímač U3 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, z nerezové oceli, se schopností snímat jmenovité síly od 500 N do 100 kN [7]



Obr. 3.3 Vícekanálový měřicí zesilovač MGCplus firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH [7]

3.2 Popis zkoušky otiskem

3.2.1 Zadané parametry zkoušky

Účelem zkoušky je nalezení závislosti velikosti otisku pneumatiky na druhu pneumatiky, jejím zatížení a nahuštění. Zkoušeny byly tři druhy letních pneumatik těchto průměrů 14, 15 a 16 palců. První z pneumatik patří mezi levnější modely, druhá a třetí v pořadí se pak řadí mezi vyšší třídy pneumatik.

První pneumatikou byla radiální, bezdušová *Barum Brillantis 165/70 R14 81T* vyrobená technologií Barum Belt Konzept, díky které má zvýšenou životnost. Dezén této pneumatiky se skládá z množství lamel poskytujících vysoký počet

zábrtových hran pro lepší přenos sil, a dále pak ze těchto širokých obvodových drážek pro odvod vody v podélném směru, přičemž drážky pomáhají odvodu vody ještě v podélném směru. Dezén je navržený hlavně pro provoz ve zhoršených klimatických podmínkách.

Další zkoušenou pneumatikou byla *Bridgestone Turanza ER300 195/55 R15 85H*, určená jako originální pneumatika pro voz Škoda Roomster. U této pneumatiky je tvar dezénu a konstrukce kostry navrženy speciálně pro snížení hlukosti, vnitřní část dezénu pomáhá udržovat stopu danou jízdou. Směs této pneumatiky obsahuje siliku pro snížení valivého odporu. Disponuje také dobrou ovladatelností na mokré vozovce.

Poslední byla pneumatika *Matador Elite 2 MP42 205/45 R16 83V*, určenou pro automobily střední třídy, vyšší střední třídy a luxusní třídy. Výrobce slibuje díky konfiguraci dezénu vysoký komfort jízdy, kilometrový výkon a vysokou bezpečnost jízdy. Skládá se ze širokých drážek, lamel podporujících tuhost bloků dezénu a speciální tvarové výřezy pro snížení hlukosti. Směs pneumatiky také obsahuje siliku.

Pneumatiky byly při zkoušce postupně nahušťovány různými tlaky a to 230 kPa (2,3 bar), 180 kPa (1,8 bar) a 120 kPa (1,2 bar). Tyto tlaky odpovídají 100 %, 75 % a 50 % předepsaného tlaku huštění. Každá z pneumatik byla potom zatížována silami 3,3 kN, 3,6 kN, 4,1 kN, 4,5 kN.

Tyto síly byly odvozeny od tíhy vozidla Škoda Roomster s motorem 1.6 TDI CR 77 kW, jehož celková hmotnost je 1 777 kg. Při rovnoměrném rozložení této síly mezi všechny čtyři kola dostaneme nejvyšší zatěžující sílu pro zde testované pneumatiky 4,5 kN. Zbylé tři síly 4,1 kN, 3,6 kN, 3,3 kN pak odpovídají 90 %, 80 % a 75 % z nejvyšší zatěžující síly. Obecně má však na rozložení hmotností mezi kola hlavně vliv poloha hnacího ústrojí automobilu. V přítomnosti řidiče, spolujezdců a nákladu pak celkové rozložení těchto hmotností ve vozidle. Jednotlivé zatížení kol přední a zadní nápravy naznačuje obrázek 4.3.

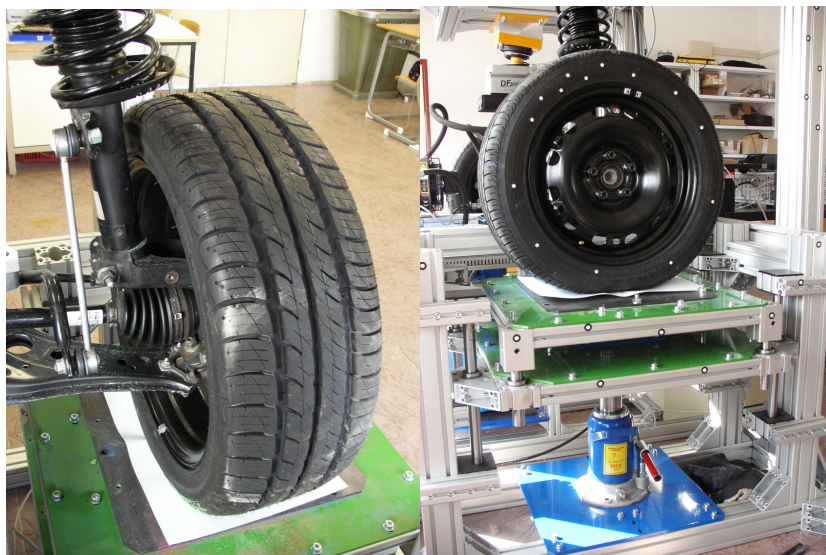


Obr. 3.4 Rozložení zatížení jednotlivých kol pro vozidlo Škoda Roomster s benzínovým motorem o objemu 1,6 dm³ a výkonu 77 kW. Rozložení hmotností je uvedeno s idem a bez p ítomnosti idi e ve voze. Zatížení levého kola na p ední náprav , bez idi e, je v tší z d vodu rozložení hnacího ustroj í pod kapotou vozidla – motor vozidla je uložen blíže k levé stran [4]

3.2.2 Postup m ení

Pneumatika nahušt na na nejvyšší zadanou hodnotu tlaku se p ípevnila na záv s. K ídou se nabarvila ást dezénu z obvodu pneumatiky a na zdvihací pevnou podložku pod kolem se p ípevnila tvrtka. Pohybem páky, umíst né ve spodní ásti za ízení, se podložka vysunula do takové výšky, aby vyvolala pot ebné zatížení pneumatiky podle zadaných hodnot. Zvyšování velikosti zatížení bylo možné sledovat na obrazovce po íta e. Po dosažení pot ebné hodnoty zatížení se znova p íkontroloval tlak v pneumatice ru ním manometrem, zda odpovídá zadaným hodnotám, jelikož zatížení pneumatiky vede k mírnému nár stu tlaku v pneumatice. Podle pot eby se ást vzduchu v pneumatice odpustilo. Po následném odleh ení, tedy odjetí podložky, jsme získali p íslušný otisk vzorku pneumatiky. V dalším kroku byla pneumatika s tímto hušt ním zatížena další p íedepsanou silou a celý postup se opakoval.

Pro každou z pneumatik se provád lo stejné m ení. Pneumatika byla nahušt na postupn na t í r zné tlaky, a u každého hušt ní byly aplikovány ty i p íedepsané síly. Všechny pneumatiky byly p ím ení ve st edové poloze.



Obr. 3.5 Levý obrázek - záv s pneumatiky McPherson, pravý obrázek - pohled na pohyblivou podložku vyvolávající zatížení pneumatiky, v dolní části obrázku je patrná červená páka pro ovládání podložky



Obr. 3.6 Kontrola zvyšování síly při zatížení pneumatiky na obrazovce počítače pomocí softwaru catman®Easy

Z důvodu přesného výpočtu plochy výsledného otisku pneumatiky byl potiskba otisk převeš do digitální podoby pomocí modelovacího přístroje Microscribe 3DX (s přesností 0,23 mm). Přístroj se skládá z mechanického ramena na kterém je připevněn hrot. Rameno je složeno z několika částí propojených klouby. V každém z těchto kloubů je umístěn senzor, napojen na šip v podstavci. Každý ze senzor zaznamenává natočení příslušné části ramene. Počítač pak vyhodnocuje údaje ze všech těchto kloubů a tím určí polohu našeho skenovaného bodu.

Pomocí hrotu pístroje jsem nejprve zadala základní souřadné osy a potom jsem jím přímo obtáhla obvod otisku, který se ihned zobrazoval na obrazovce počítače. Po ústředí a konec zaznamenávání kliky na obrazovku počítače jsem zadávala sepnutím a vypnutím nožního spínače. Poté jsem plochu otisku změnila programem VariCAD pomocí funkce „měření ploch 2D“.

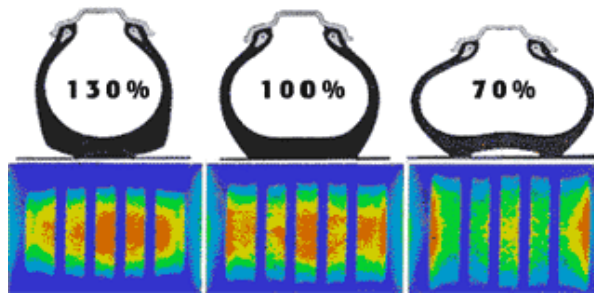


Obr. 3.7 Modelovací pístroj Microscribe 3DX, vyrobený firmou Immersion pro digitalizaci 3D objektů [11]

3.3 Rozložení tlaku v ploše otisku pneumatiky

Související částí a podrobnějším doplněním této zkoušky je zjištění rozložení tlaku v ploše otisku pneumatiky. Tlak působící na vozovku, tzv. kontaktní tlak, v ploše otisku pneumatiky je dle ležitého z hlediska úhlu vozidla na vozovku, pro jízdní vlastnosti a chování vozidla při jízdě. Velikost tohoto tlaku je zejména ovlivněna velikostí plochy otisku pneumatiky, a také odchylkou velikosti tlaku hustě od doporučené hodnoty. Při zatížení pneumatiky konstantní silou bude hodnota středního tlaku nižší, čím více bude plocha otisku větší a kompaktnější.

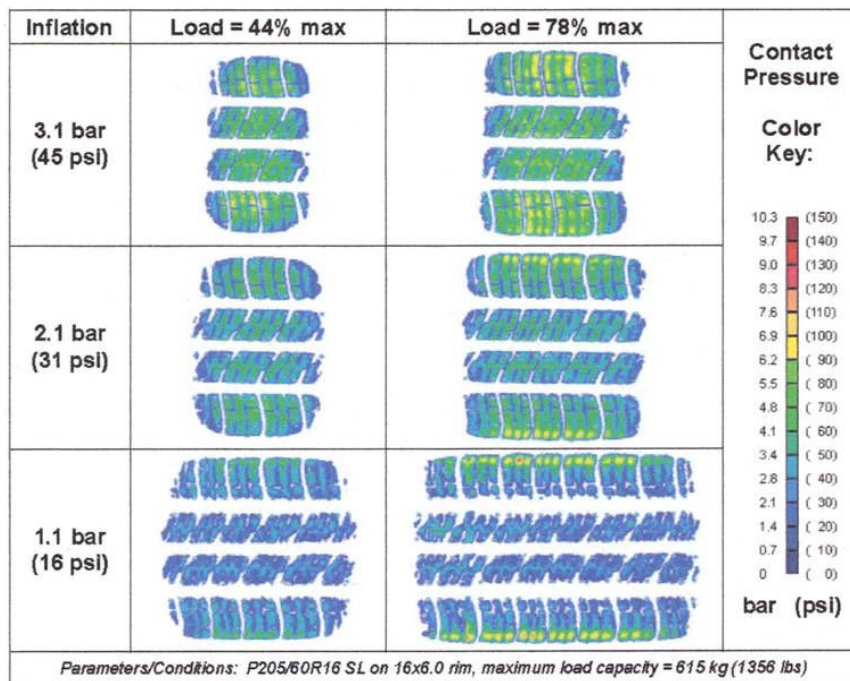
U podhuštěných pneumatik, stejně tak i u přehuštěných pneumatik je toto rozložení tlaku nesprávné a je zřejmé viditelné na velikosti a nerovnoměrném opotřebení pneumatiky. Prodlužuje se brzdná dráha, životnost pláště je mnohem kratší a zvyšuje se valivý odpor. Konečným důsledkem je pak i větší spotřeba paliva. Právě stejnorodé působení sil ve styčné ploše dává pneumatice lepší dynamické vlastnosti.



Obr. 3.14 Rozložení tlaku v ploše pneumatiky při přeplnění pneumatice (130 %), doporučeném (100 %) a podplnění pneumatice (70 %). U přeplněné pneumatiky je kontaktní tlak nejvyšší ve středu stykové plochy pneumatiky a vozovky, u podplněné pneumatiky je nejvyšší kontaktní tlak naopak na stranách stykové plochy. U velkého podplnění se pak středová část dezénu pneumatiky nemusí ani dotýkat vozovky. V obou dvou případech to bude mít značný vliv na vyšší opotřebení pneumatiky a na zkrácení její životnosti. [13]

Střední hodnotu kontaktního tlaku je možné vypočítat podle vzorce:

Kontaktní tlak = zatížení pneumatiky / plocha otisku pneumatiky



Obr. 3.15 Tabulka zobrazující plochy otisku pneumatiky osobního vozu a příslušné rozložení tlak znázorněné stupnicí barev. Zatížení pneumatiky je zvoleno jako 44 % a 78 % z maximálního dovoleného zatížení 615 kg [15]

Přímé měření tlaku působícího ve styčné ploše je možné provést pomocí přístroje TireScan. Přístroj je schopen měřit pneumatiky osobních automobilů až

po letecké pneumatiky pomocí snímací podložky se spousty piezoelektrickými snímači. Dokáže také změřit plochu otisku pneumatiky, jeho délku, šířku a mnoho dalších parametrů jako například provedení analýzy složení pneumatik a skladby jejich dezénu. Systém je schopen snímat otisky za stojícího (statického měření), nebo otáčejícího se (dynamického měření) kola automobilu. Mnohobarevný obraz otisku je okamžitě softwarem převeden do digitální podoby v počítači, kde jsou vyhodnoceny příslušné parametry otisku a tlaku. Výsledky jednotlivých pneumatik nebo jedné pneumatiky různých tlaků, hustoty a různých zatížení lze mezi sebou srovnávat.

Toto měření však nebylo možné v laboratorních provést, jelikož tento přístroj není ve škole dostupný.



Obr. 3.16 Sestava přístroje TireScan od firmy Tekscan, model TVR8400, deska senzoru obsahuje více než 82 000 snímacích čidel, které jsou schopny v reálném čase přenášet získané informace do počítače [9]

3.4 Vyhodnocení namáhání otisk

Při zatížení pneumatiky dochází k stlačování jejího obvodu do roviny podložky. Existují tři hlavní faktory, které spolu úzce souvisí, a ovlivňují velikost této stlačené části obvodu - otisku pneumatiky, a to rozměr pneumatiky, velikost zatížení a tlak nahuštění.

Automobil je přes tyto malé části pneumatik v jediném spojení s vozovkou. A proto na velikosti otisku (kontaktní ploše) pneumatiky, ovlivněnými těmito parametry, značně závisí celá ekonomie jízdy automobilu. Pracovníci testovacích laboratoří zjistili, že podhuštěné pneumatiky vykazují větší odpor proti valení a tím pádem zvyšují spotřebu paliva. Mají také mnohem kratší životnost, nerovnoměrné opotřebení a delší brzdovou dráhu. Podhuštěné pneumatiky na druhou stranu dostatečně nepružní a zatěžují tak všechny pružící prvky podvozku. Povrch běhounu pneumatiky je nejvíce zatěžován na středě a hrozí brzké prodržení nebo proražení dezénu pneumatiky v těchto místech. Přetížená pneumatika nebude správně přenášet brzdící a akcelerační síly, značně se sníží její pružící vlastnosti a tím komfort jízdy. Životnost takovéto pneumatiky nebude ani poloviční.

Se zvětšující se plochou otisku dochází rovněž k lepšímu přenosu sil. Rozměr plochy je závislý na velikosti pneumatiky, ale také na její konstrukci. Mnoho jiných také záleží na poměru mezi zaklivením, tedy jak rychle běhoun klesá od jeho středu směrem k bočním, a šířkou běhounu. Menším zaklivením se profil běhounu stává plošší a tím se zvětšuje velikost kontaktní plochy.

Nejen velikost plochy, ale také její tvar má vliv na kvalitu a bezpečnost jízdy.

Čím více je tvar kontaktní plochy hranatější, tím účinnější je přenos brzdících a hnacích sil na vozovku. Minimalizuje se tak opotřebení krajnic a blokové dezény pneumatiky, které se namáhají v oblasti stykové plochy při otáčení kola. Pneumatika se díky menšímu namáhání i méně zahřívá.

Tabulka naměřených hodnot celkových ploch otisků a plochy otisku dezénu

| Pneumatika | průměr ráfku ["] | huštiní [bar] | huštiní [kPa] | zatěžující síla [kN] | celková plocha otisku [mm ²] | plocha otisku dezénu [mm ²] |
|------------------------------------------|------------------|---------------|---------------|----------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Barum Brillantis 165/70 R14 81T | 14 | 2,3 (100%) | 230 | 3,30 | 17 205,0 | |
| | | | | 3,60 | 18 568,1 | |
| | | | | 4,11 | 20 581,2 | |
| | | | | 4,51 | 21 806,0 | 12 365,6 |
| | | 1,8 (75%) | 180 | 3,30 | 20 573,6 | |
| | | | | 3,59 | 21 854,7 | |
| | | | | 4,10 | 23 861,9 | |
| | | | | 4,50 | 26 076,5 | |
| | | 1,2 (50%) | 120 | 3,30 | 27 029,5 | |
| | | | | 3,60 | 28 985,3 | |
| | | | | 4,12 | 32 037,5 | |
| | | | | 4,51 | 34 381,8 | |
| Bridgestone Turanza ER300 195/55 R15 85H | 15 | 2,3 (100%) | 230 | 3,27 | 17 852,5 | |
| | | | | 3,58 | 20 425,6 | |
| | | | | 4,09 | 21 545,9 | |
| | | | | 4,46 | 22 718,2 | 12 763,2 |
| | | 1,8 (75%) | 180 | 3,27 | 21 597,7 | |
| | | | | 3,59 | 22 583,3 | |
| | | | | 4,08 | 24 923,4 | |
| | | | | 4,48 | 26 637,8 | |
| | | 1,2 (50%) | 120 | 3,31 | 27 833,5 | |
| | | | | 3,56 | 29 607,8 | |
| | | | | 4,10 | 33 380,4 | |
| | | | | 4,50 | 35 835,0 | |
| Matador Elite 2 MP42 205/45 R16 83V | 16 | 2,3 (100%) | 230 | 3,32 | 19168,2 | |
| | | | | 3,60 | 21508,0 | |
| | | | | 4,09 | 24668,8 | |
| | | | | 4,52 | 25718,5 | 14 448,2 |
| | | 1,8 (75%) | 180 | 3,30 | 22 672,7 | |
| | | | | 3,59 | 25 331,7 | |
| | | | | 4,10 | 28 489,6 | |
| | | | | 4,52 | 30 100,0 | |
| | | 1,2 (50%) | 120 | 3,30 | 29 423,0 | |
| | | | | 3,61 | 33 845,5 | |
| | | | | 4,09 | 36 297,9 | |
| | | | | 4,51 | 38 261,6 | |

Tab. 3.1 Výsledné velikosti celkových ploch a plochy otisků samotných lamel dezénu jednotlivých pneumatik

Tabulka naměřených hodnot délek a šířek otisků

| Pneumatika | průměr ráfku ["] | huštiní [bar] | huštiní [kPa] | zatěžující síla [kN] | délka otisku [mm] | šířka otisku [mm] |
|------------------------------------------------|------------------|---------------|---------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Barum Brillantis 165/70 R14 81T | 14 | 2,3 (100%) | 230 | 3,30 | 165 | 111 |
| | | | | 3,60 | 180 | 115 |
| | | | | 4,11 | 193 | 115 |
| | | | | 4,51 | 230 | 117 |
| | | 1,8 (75%) | 180 | 3,30 | 191 | 113 |
| | | | | 3,59 | 204 | 115 |
| | | | | 4,10 | 222 | 115 |
| | | | | 4,50 | 242 | 117 |
| | | 1,2 (50%) | 120 | 3,30 | 260 | 113 |
| | | | | 3,60 | 272 | 115 |
| | | | | 4,12 | 289 | 115 |
| | | | | 4,51 | 303 | 115 |
| Bridgestone Turanza ER300 195/55 R15 85H | 15 | 2,3 (100%) | 230 | 3,27 | 132 | 147 |
| | | | | 3,58 | 140 | 151 |
| | | | | 4,09 | 150 | 155 |
| | | | | 4,46 | 163 | 157 |
| | | 1,8 (75%) | 180 | 3,27 | 153 | 147 |
| | | | | 3,59 | 161 | 149 |
| | | | | 4,08 | 175 | 149 |
| | | | | 4,48 | 183 | 149 |
| | | 1,2 (50%) | 120 | 3,31 | 197 | 151 |
| | | | | 3,56 | 207 | 151 |
| | | | | 4,10 | 227 | 151 |
| | | | | 4,50 | 240 | 154 |
| Matador Elite 2 MP42 205/45 R16 83V | 16 | 2,3 (100%) | 230 | 3,32 | 138 | 161 |
| | | | | 3,60 | 141 | 165 |
| | | | | 4,09 | 153 | 169 |
| | | | | 4,52 | 164 | 173 |
| | | 1,8 (75%) | 180 | 3,30 | 153 | 170 |
| | | | | 3,59 | 160 | 170 |
| | | | | 4,10 | 179 | 170 |
| | | | | 4,52 | 193 | 173 |
| | | 1,2 (50%) | 120 | 3,30 | 203 | 170 |
| | | | | 3,61 | 210 | 175 |
| | | | | 4,09 | 225 | 175 |
| | | | | 4,51 | 240 | 175 |

Tab. 3.2 Délky a šířky otisků styčných ploch jednotlivých pneumatik

3.4.1 Obecný rozbor naměřených hodnot

Na první pohled je z tabulky zřejmé, že velikost otisku se zvyšuje s rostoucím podtlakem pneumatiky a zároveň také s rostoucím zatížením.

Existuje mnoho dohadů, od autorů zabývajících se problematikou pneumatik, o závislosti velikosti kontaktní plochy na tlaku huštění pneumatiky a jejím zatížení.

Některá z nich tvrdí, že při zachování tlaku huštění v pneumatice a při zvýšení zatěžující síly na dvojnásobnou hodnotu se musí automaticky plocha otisku zvýšit také dvojnásobně (v rozsahu malých odchylek). Tyto parametry si však bohužel lineárně nelineární nejsou. Pro představu, 10 % - ním změna zatížení pneumatiky nebude mít obvykle za následek 10 % - ním změnu ve velikosti stykové plochy, jak je také patrné z tabulky naměřených hodnot. Konkrétně, u všech tří zde měřených pneumatik, při zvýšení zatěžující síly z 3,3 kN na 4,5 kN, což představuje zvýšení o 37 %, se plochy zvýšily v rozmezí 23 % - 32 %. Lineární úměrnost nejde prokázat ani u tlaku huštění. Při zatížení pneumatik stejnou silou a snížení tlaku v pneumatice o 15 % se otisky zvýšily přibližně o 12 % až 21 %.

Dle vodem tvrzení o závislosti těchto parametrů byl předpoklad, že tlak působící v ploše otisku zůstane stejný jako je stávající tlak huštění pneumatiky. Tento tlak v kontaktní ploše však ve skutečnosti stejný nezůstane a ani dokonce podobný. Tyto tvrzení se tedy mohou blížit reálným výsledkům pouze při hodnách malých zatíženích.

Další úvaha objevující se často ve technických publikacích se týká závislosti rozměru plochy na velikosti pneumatiky. Tvrzení zní, že bude-li se pneumatika, podobných parametrů, lišit od předvodní pouze dvojnásobnou šířkou, se stejnými hodnotami zatížení a huštění, bude mít stejnou velikost stykové plochy jako ta první. Pouze se zkrátí na polovinu délka stykové plochy a naopak se zdvojnásobí její šířka. Toto tvrzení by bylo správné pouze za předpokladu, že velikost by plochy závisela pouze na zatěžující síle a hustícím tlaku pneumatiky. Ze zde naměřených hodnot je však vidět, že plocha se také mění podle rozměrových parametrů pneumatiky a tak nelze jednoznačně říci, že dvě stejné pneumatiky, lišící se pouze v šířce, budou mít stejnou velikost kontaktní plochy.

Při zatížení nicméně dochází k deformaci celé pneumatiky. Zejména u podtlaků pneumatik na 120 kPa docházelo k velkému vybočení bočnic, avšak ani u jedné z pneumatik při nejvyšším zatížení nedošlo k otisku gumy mimo dezén pneumatiky. Takovéto prohnutí bočnic však už může být na hranici přípustné

meze a může dojít k nevratnému poškození. Kostra pláště tvořená kordovými vlákny se může začít lámat a patka pneumatiky je čím dál více náchylná ke klouzáni po ráfku a zahívání se, což má za následek její rychlé opotřebování.



Obr. 3.8 Vytváření otisku zatížené pneumatiky o průměru ráfku 14 palců, na obrázku je vidět velká deformace bočnice, která může mít za následek nevratné poškození kostry pláště pneumatiky

3.4.2 Plochy pneumatiky s průměrem ráfku 14 palců

Velikost plochy otisku, při doporučeném huštění 230 kPa a při aplikaci zatěžující síly 3,3 kN, nejmenší z měřených pneumatik, je také jednoznačně nejmenší. Pneumatika disponuje nejmenší šířkou $B = 165 \text{ mm}$, ze všech tří zkoušených modelů a její plocha otisku má tak nejmenší šířku a naopak největší délku.

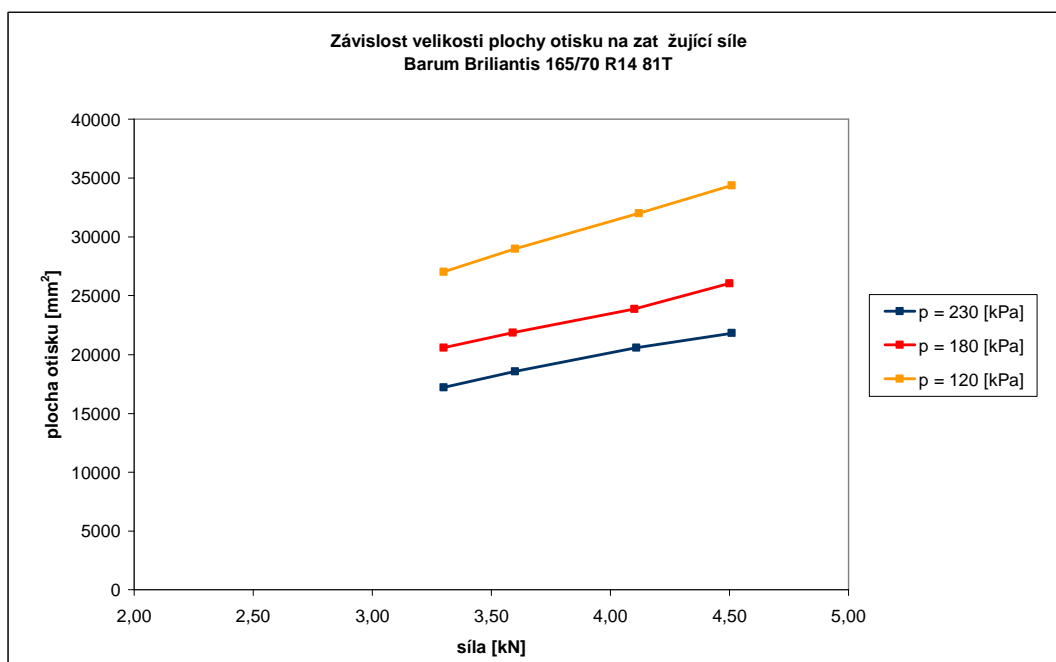
U této pneumatiky je zajímavé, že při známém nahuštění pneumatiky, na této předepsané hodnoty tlaku, se velikost otisku zvětšila vždy o přibližně stejné procento, po postupné aplikaci ty zatěžujících sil. Při huštění 230 kPa a zatížení nejmenší ze sil byla plocha otisku $17\,205 \text{ mm}^2$. Při zatížení pneumatiky silou 3,6 kN se velikost otisku zvětšila o 7 %, při zatížení silou 4,1 kN bylo zvětšení plochy o 19 % oproti prvnímu z otisků a zatížení silou 4,5 kN způsobilo zvětšení plochy o 27 % také oproti prvnímu z otisků. Stejně (s odchylkou v rozmezí 1 %) byly tyto hodnoty i u dalších dvou tlaků huštění. U pneumatik s průměrem ráfku 15 a 16 palců byly tyto odchylky v procentech větší.

Tento konstantní poměr stek velikosti plochy značí o stálosti pneumatiky, která je pravděpodobně způsobená větší tvrdostí směsi pryže, kterými zpravidla disponují užší pneumatiky. U takovýchto pneumatik se používá tvrdších směsí, protože pneumatika musí být schopná více vzdorovat teplu. Úzké pneumatiky mají totiž nižší schopnost odvodu tepla, jelikož velikost plochy, která je v kontaktu

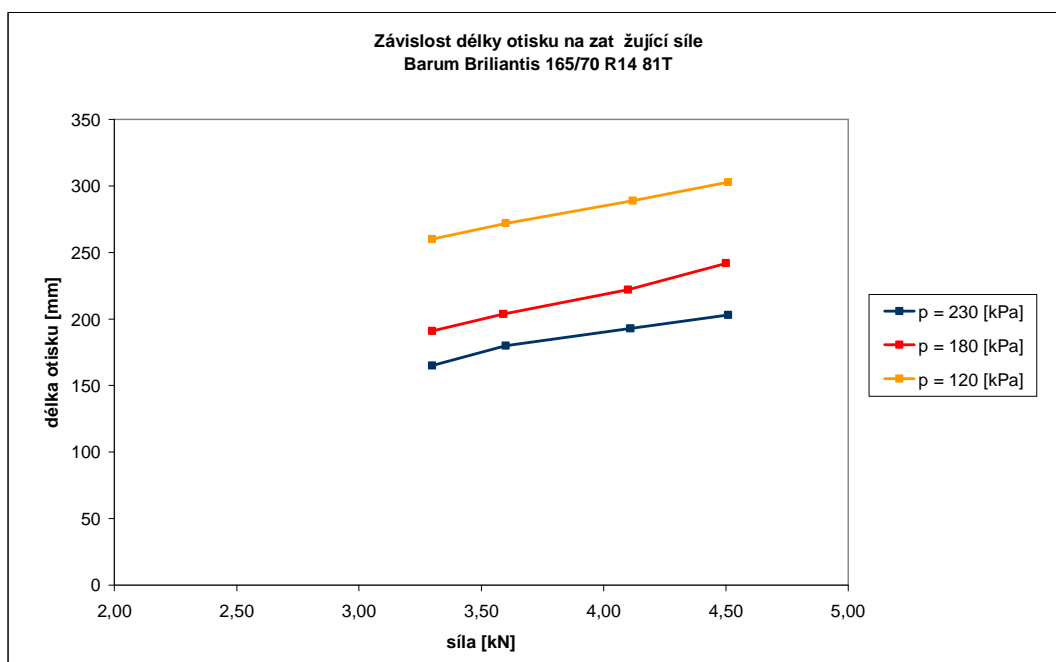
s vozovkou je delší než jak je tomu u širších pneumatik stejných velikostí, parametr zatížení a huštění. Namáhána je tedy u těchto pneumatik větší část z jejich obvodu a pneumatika nemá tolik času k odvodu tepla z sobeného deformací pneumatiky. Tvrdší směs pneumatik má však také mnoho výhod. Čím tvrdší směs, tím nižší valivý odpor má pneumatika, méně se opotebňuje a má lepší boční stabilitu.

Při odpuštění vzduchu v pneumatice na tlak 180 kPa a při aplikaci prvních dvou sil nebylo zvětšení plochy ještě tak znatelné. Plochy měly dokonce stejnou velikost jako při huštění doporučeném a aplikací sil nad 4,0 kN. Na tuto pneumatiku tak nemá, snížení tlaku o 15 % pod doporučenou hodnotu, zásadní vliv z hlediska velikosti kontaktní plochy. Znatelné zvýšení plochy nastalo až při zatížení silou 4,5 kN. Podhuštěním na 120 kPa už ale započínalo znatelné zvětšení ploch hned od začátku zatěžování pneumatiky. Oproti prvnímu otisku, získaném zatížením pneumatiky 3,3 kN a jejím nahuštěním na 230 kPa, bylo zvětšení plochy, s parametry zatížení 4,5 kN a huštění 120 kPa, dvojnásobné. Takovýto nárůst velikosti plochy, pro tyto parametry zatížení, však můžeme sledovat i u ostatních pneumatik.

Tvar tohoto otisku dává za pravdu úvahám o úzkých pneumatikách. Na začátku u zatížení 3,3 kN při huštění 230 kPa, byl už otisk viditelně podlouhlejší oproti zbylým dvěma pneumatikám. Při dalším zatížení většími silami se otisk dále znatelně prodlužoval. Při snížení tlaku huštění na 180 kPa a aplikaci znovu skupinou zatěžujících sil pokračovalo zvětšování plochy hlavně v podélném směru, kdežto nárůst šířky otisku probíhal jen v rámci milimetrů. Další snížení tlaku na 120 kPa uvnitř pneumatiky a aplikace síly 4,5 kN mělo za následek téměř dvojnásobné zvětšení délky plochy oproti prvnímu z otisků. Za provozu by takto zatížená pneumatika byla znatelně zdeformována, jednak velkým podhuštěním a také nedostatečným odvodem tepla.



Obr. 3.9 Graf závislosti velikosti plochy na zat žující síle pro pneumatiku Barum Briliantis s pr m rem ráfku 14 palc

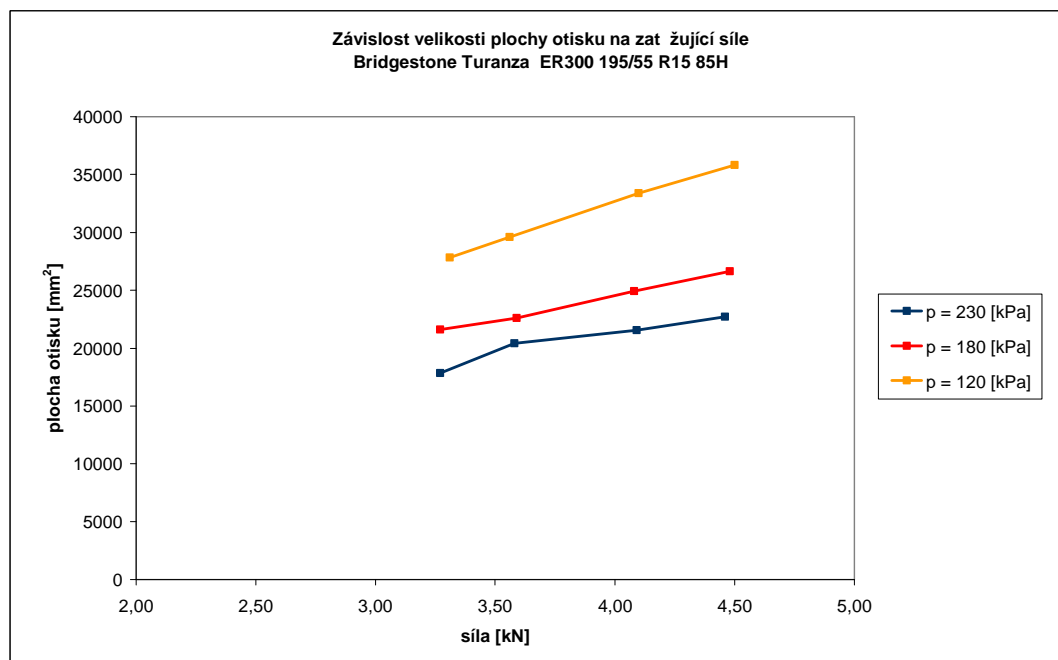


Obr. 3.10 Graf závislosti délky otisku na zat žující síle pro pneumatiku Barum Briliantis s pr m rem ráfku 14 palc

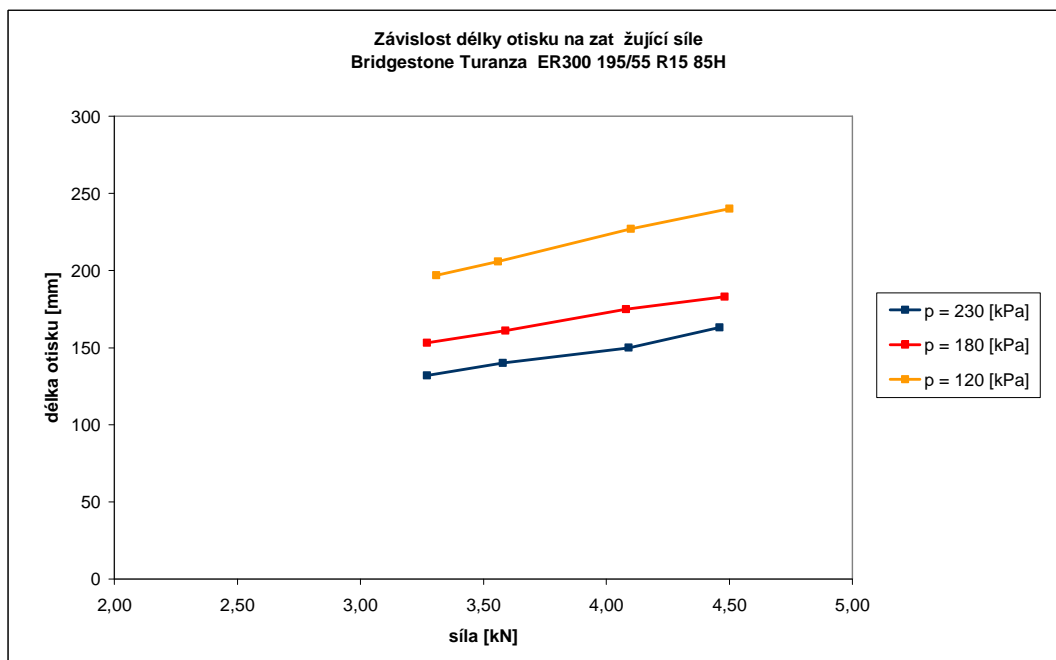
3.4.3 Plochy pneumatiky s průměrem ráfku 15 palc

Velikost plochy otisku této pneumatiky při doporučeném huštění a ztížení 3,3 kN byla téměř stejná jako u předchozí pneumatiky při stejných parametrech zatížení. Jakmile jsem však pneumatiku zatížila silou 3,5 kN plocha se zvětšila už o 14 %. U 14-ti palcové pneumatiky byl tento nárůst plochy jen o 7 %. Naproti tomu, při dalším porovnání s předchozí pneumatikou, byly velikosti ploch, až téměř pravidelné, v téže vždy o plus minus 1000 mm², pro všechny tři skupiny tlak huštění a pro dané hodnoty zatížení. To znamená, že určené zvětšení šířky pneumatiky a změna jejího profilu ještě nemusí mít žádný vliv na velikost kontaktní plochy. Z tohoto také vyplývá, že stejně jako bylo popisováno v minulé kapitole, vyšly plochy, při popisovaných parametrech huštění a zatížení, stejně veliké.

Tvar otisku této pneumatiky měl tvar tverce. V průběhu testování při tlaku 230 kPa se plocha rozšířila prakticky rovnoměrně všemi směry. U tohoto tlaku také došlo k nejvyššímu nárůstu šířky plochy otisku. Až při snížení tlaku huštění pneumatika začala vytvářet otisk podobný jako předchozí pneumatika a zvětšovala se hlavně délkou otisku.



Obr. 3.11 Graf závislosti velikosti plochy na zatěžující síle pro pneumatiku Bridgestone Turanza s průměrem ráfku 15 palc



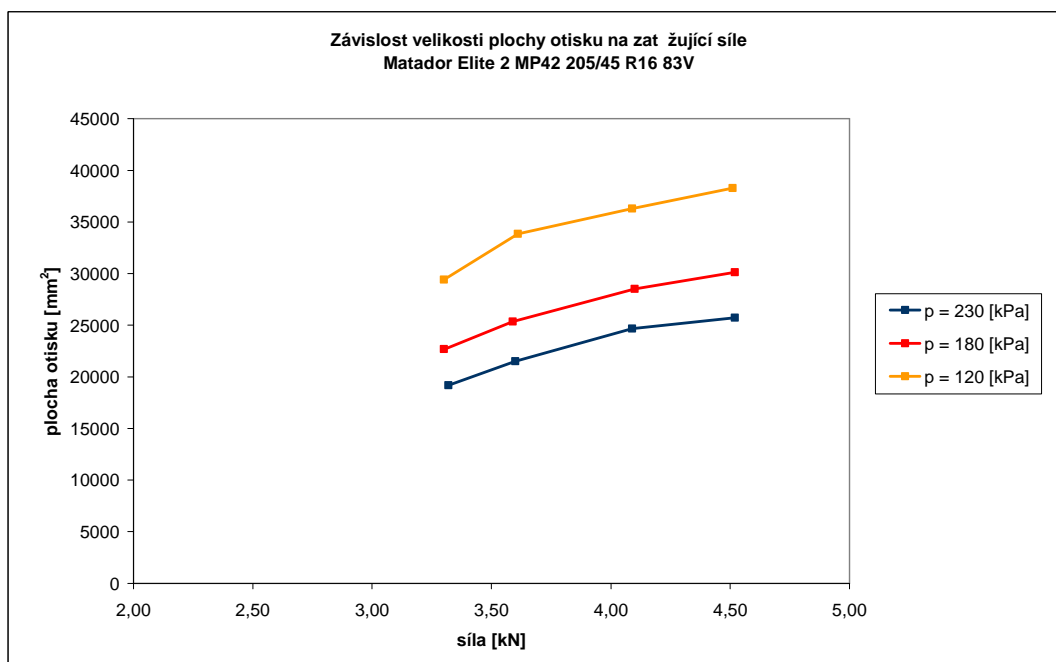
Obr. 3.12 Graf závislosti délky plochy na zatěžující síle pro pneumatiku Bridgestone Turanza s průměrem ráfku 15 palc

3.4.4 Plochy pneumatiky s průměrem ráfku 16 palc

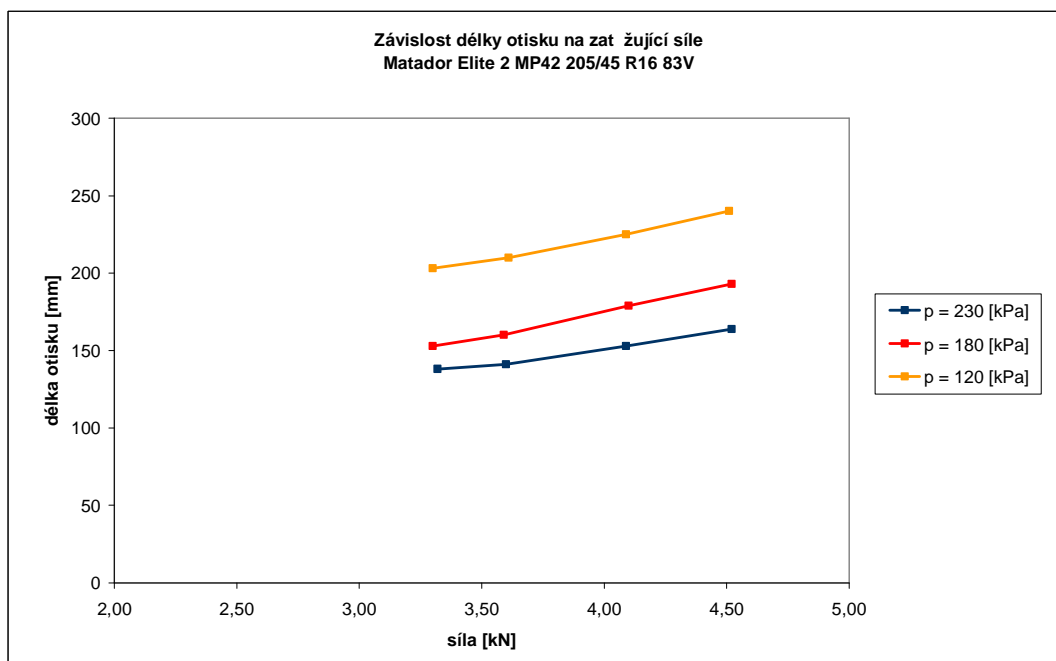
Tato nízko profilová pneumatika ($\phi = 45\%$) má naopak nejvyšší šířku $B = 205$ mm. V dřívejším odstavci byl vysvětlen důvod použití tvrdých sloučenin pryže pro úzké pneumatiky, širší pneumatiky jsou tedy naopak zpravidla zhotovené z měkčích sloučenin, které mají vyšší koeficient tření. To dává pneumatice lepší přilnavost k vozovce a tím lepší stabilitu. Díky těmto zmíněným vlastnostem se měkčí sloučeniny pryže také používají u pneumatik s vyšším rychlostním indexem. To také odpovídá této pneumatice, která má rychlostní index V (použití pro maximální rychlost vozidla 240 km/h), nejvyšší z testovaných pneumatik. Nejen v šířce, ale i tyto vlastnosti, této šestnácti-palcové pneumatiky, pravděpodobně způsobily větší velikosti plochy při zatížení, oproti předcházejícím pneumatikám. U všech testovaných tlaků platilo, že otisk pneumatiky po ízení při zatěžující síle 4,5 kN, byl o více než 30 % větší, než otisk pneumatiky po ízení při zatěžující síle 3,3 kN. Pro obě předcházející pneumatiky bylo toto zvětšení ploch kolem 25%. Zvětšování ploch také zde probíhalo v závislosti na zvyšující se síle.

Tvar prvního z měřených otisků byl nejkulatější a také nejširší v porovnání s ostatními prvními otisky pneumatik vytvořených za stejných parametrů. Dalším zkoušením si pneumatika zachovávala kulatý tvar kontaktní plochy. Stejně jako

v předchozím případě se plocha začala prodlužovat hlavně v podélném směru až při snížení tlaku na 180 kPa a následně 120 kPa.



Obr. 3.13 Graf závislosti velikosti plochy na zatěžující síle pro pneumatiku Matador Elite s průměrem ráfku 16 palc



Obr. 3.14 Graf závislosti délky plochy na zatěžující síle pro pneumatiku Matador Elite s průměrem ráfku 16 palc

Z grafů na obrázcích 3.9 až 3.15 je patrné, že závislost velikosti plochy na zatěžující síle, stejně tak jako závislost délky plochy na zatěžující síle, při jednotlivých tlacích huštění, je přibližně lineární (uvážíme-li drobné nepřesnosti měření). Naopak šířka ploch pneumatik se měnila různě pro každou z pneumatik a v některých oblastech dokonce zůstávala konstantní. Velikost změny tloušťky u žádného měření nepřesáhla 12 mm. Lze také vypořádat, že jak u velikostí ploch tak u jejich délek snížení tlaku ze 230 kPa na 180 kPa zapříčinilo menší procentuální vzrůst ploch než jak tomu bylo při snížení tlaku v pneumatice z 180 kPa na 120 kPa. Můžeme tedy říci, že čím více budou podhuštěné pneumatiky, o to větší procento poroste velikost ploch oproti danému vyššímu tlaku.

V příloze 1, na obrázku 1 až 3, jsou doplňující grafy závislostí velikostí ploch na hustícím tlaku pneumatik. Pro všechny pneumatiky jednoznačně platí, že čím více je pneumatika podhuštěna, tím větší plochou se pneumatika stýká s vozovkou. Dále pro tuto závislost parametr platí, že se zvyšující se silou zatížení pneumatiky bude křivka v těchto grafech posazena výše.

V příloze 2, na obrázku 4 až 6, jsou pak grafy pro porovnání jednotlivých pneumatik z hlediska závislostí velikostí ploch pneumatik na zatěžující síle, pro jednotlivé tlaky huštění. Z grafů je jednoznačně jasné, že se zvyšujícími rozměry pneumatik jsou také větší otisky jejich kontaktních ploch, přičemž pneumatika trnácti-palcová s pneumatikou patnácti-palcovou mají k sobě blíže z hlediska velikostí ploch otisk, což pravděpodobně značí o jejich podobných tuhostích.

3.4.5 Otisky dezénu

Otisk dezénu dané pneumatiky je dán tvarem lamel dezénu a velikostí drážek mezi žebry dezénu.

Plochy otisků dezén jsem měřila u všech tří zde testovaných pneumatik při huštění 230 kPa a zatížení 4,5 kN. Modelovacím přístrojem Microscribe 3DX jsem do digitální podoby převědla pouze samostatné otisky lamel dezénu. Součet jejich velikostí ploch pak představuje velikost plochy otisku dezénu. Po odečtení této plochy od celkové plochy otisku pneumatiky dostaneme plochu drážek.

Poměr celkové plochy drážek ku celkové ploše vzorku (de facto poměr mezi prázdnou a plnou částí dezénu), nám dává důležité informace o pneumatice. Čím je totiž tento poměr větší, tím se zvyšuje náchylnost pneumatiky k opotřebení a zvyšuje se hlučnost pneumatiky při jízdě. Nízký poměr zase značí vysokou

celkovou tuhost bloku dezénu, dohromady s širší sty nou plochou pneumatiky se snižuje celkové zatížení v této sty né ploše. U pneumatiky s pr m rem ráfku 14 palc je pom r mezi t mito ástmi dezénu 0,76, u pneumatiky s pr m rem ráfku 15 palc je 0,78 a u poslední pneumatiky je hodnota pom ru 0,78. Navzdory zcela odlišným dezen m u každé z pneumatik jsou pom ry prakticky stejné. Rozdíl ve vlastnostech pneumatik tak bude dán skladbou a druhem samotného dezénu.

Tabulka nam ených hodnot ploch otisk a ploch drážek otisk

| Pneumatika | pr m r ráfku ["] | hušt ní [kPa] | zat žující síla [kN] | plocha otisku [mm ²] | plocha otisku dezenu [mm ²] | plocha drážek [mm ²] |
|------------------------------------------------|------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Barum Brillantis 165/70 R14 81T | 14 | 230 | 4,51 | 21 806,0 | 12 365,6 | 9 440,4 |
| Bridgestone turanza ER300 195/55 R15 85H | 15 | 230 | 4,46 | 22 718,2 | 12 763,2 | 9 955 |
| Matador Elite 2 MP42 205/45 R16 83V | 16 | 230 | 4,52 | 25 718,5 | 14 448,2 | 11 270,3 |

Tab. 3.3 Plochy otisk dezén pro jednotlivé pneumatiky p i hušt ní 230 kPa a zatížení pneumatiky silou 4,5 kN

Dalším d ležitým údajem je pom r mezi otiskem dezénu a otiskem celé dotykové plochy pneumatiky. Tento pom r zna í tzv. *koeficient plnosti otisku dezénu*. Podle tohoto údaje jsou pneumatiky rozd leny pro použití na r zné druhy vozovek, jako jsou pís ité p dy, p dy s r znou vlhkostí nebo pevné vozovky. Koeficient plnosti otisku dezénu vyšel, pro zde testované pneumatiky, 56,7 %, 56,2 % a 56,2 %.

3.5 Ov ení matematického vztahu podle Doc. Ing. estmíra Šalamouna, CSc. pro výpo et vratného momentu

Mezi jedny z nejd ležit jších vlastností kol a pneumatik, které ovliv ují chování vozidla p i jízd jsou sm rové vlastnosti. Tyto vlastnosti mimo jiné ovliv ují vratný moment a bo ní síla.

P i natá ení kol, vzniká ve stykové ploše pneumatiky a podložky vratný moment, p sobící proti sm ru natá ení pneumatiky. Tento moment vlastn vyjad uje odpory vznikající mezi pneumatikou a podložkou p i natá ení kolem.

Velikost tohoto momentu je tedy zejména dle ležité pro zjištění nárocnosti na konstrukci zavšení kol a řídícího mechanismu, z hlediska velikosti silových poměrů potřebných pro řízení a natáčení kol.

Vratný moment závisí na velikosti úhlu natočení pneumatiky a vratné tuhosti stojící pneumatiky, která dále závisí na tlaku huštění a radiálním zatížení pneumatiky. Dále také záleží na podložce po které je s pneumatikou natáčeno a na konstrukci zavšení kola a jeho geometrii.

Na stejném stroji jako byla prováděna zkouška otiskem – za řízení pro experimentální výzkum nových systémů rovného řízení vozidla typu by-wire, byly i výše popsané, testované pneumatiky natáčeny kolem své osy otáčení o úhel α , po tuhé podložce z betonu, která zároveň zajišťovala silové zatížení pneumatiky. Natáčení kolem bylo provedeno pomocí hydraulického válce, jehož vysunutí pístu se pohybovalo od -60 mm do +60 mm.

Velikost vratného momentu pro i zde testované pneumatiky jsem vypočítala podle vztahu Doc. Ing. Ing. estmíra Šalamouna, CSc.:

$$M_v = \frac{1}{4} \cdot \mu \cdot F_z \cdot (1,5 \cdot d_p + 0,5 \cdot b_p) \quad (1)$$

$$d_p = \frac{F_z}{p_{pneu} \cdot b_p} \quad (2)$$

$$b_p = 0,8 \cdot B \quad (3)$$

Význam symbolů ve vzorcích:

| | | |
|------------|------|---------------------------------------------|
| μ | [-] | souinitel tření mezi pneumatikou a vozovkou |
| F_z | [N] | zatížení pneumatiky |
| d_p | [m] | maximální délka styku pneumatiky s vozovkou |
| b_p | [m] | maximální šířka styku pneumatiky s vozovkou |
| p_{pneu} | [Pa] | tlak huštění pneumatiky |
| B | [m] | šířka pneumatiky |

Tabulka vypočtených hodnot vratného momentu

| Pneumatika | průměr ráfku ["] | huštnost [bar] | huštnost [Pa] | zatěžující síla [N] | vratný moment praktický M_{vp} [Nm] | vratný moment teoretický M_{vt} [Nm] | poměr moment M_{vp}/M_{vt} [%] |
|------------------------------------------|------------------|----------------|---------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Barum Brillantis 165/70 R14 81T | 14 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3300 | 250,0 | 189,0 | 75,6 |
| | | | | 3600 | 294,8 | 219,5 | 74,5 |
| | | | | 4110 | 356,5 | 276,5 | 77,5 |
| | | | | 4510 | 409,3 | 325,7 | 79,6 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3300 | 283,0 | 226,3 | 80,0 |
| | | | | 3590 | 326,2 | 262,6 | 80,5 |
| | | | | 4100 | 400,3 | 333,0 | 83,2 |
| | | | | 4500 | 474,2 | 393,9 | 83,1 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3300 | 368,4 | 312,3 | 84,8 |
| | | | | 3600 | 419,0 | 366,2 | 87,4 |
| | | | | 4120 | 505,7 | 469,8 | 92,9 |
| | | | | 4510 | 577,3 | 556,0 | 96,3 |
| Bridgestone Turanza ER300 195/55 R15 85H | 15 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3270 | 222,0 | 175,5 | 79,1 |
| | | | | 3580 | 255,5 | 203,8 | 79,7 |
| | | | | 4090 | 309,3 | 254,6 | 82,3 |
| | | | | 4460 | 360,1 | 294,9 | 81,9 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3270 | 247,7 | 206,6 | 83,4 |
| | | | | 3590 | 283,6 | 242,1 | 85,4 |
| | | | | 4080 | 343,7 | 301,9 | 87,8 |
| | | | | 4480 | 390,9 | 355,4 | 90,9 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3310 | 307,0 | 284,0 | 92,5 |
| | | | | 3560 | 342,2 | 323,3 | 94,5 |
| | | | | 4100 | 426,4 | 416,7 | 97,7 |
| | | | | 4500 | 491,6 | 493,4 | 100,4 |
| Matador Elite 2 MP42 205/45 R16 83V | 16 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3320 | 238,6 | 177,6 | 74,4 |
| | | | | 3600 | 264,6 | 202,6 | 76,6 |
| | | | | 4090 | 321,1 | 250,2 | 77,9 |
| | | | | 4520 | 375,7 | 295,8 | 78,7 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3300 | 259,5 | 206,0 | 79,4 |
| | | | | 3590 | 291,7 | 237,3 | 81,4 |
| | | | | 4100 | 362,3 | 297,6 | 82,1 |
| | | | | 4520 | 424,9 | 352,2 | 82,9 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3300 | 321,3 | 275,2 | 85,6 |
| | | | | 3610 | 363,3 | 322,3 | 88,7 |
| | | | | 4090 | 434,6 | 402,6 | 92,6 |
| | | | | 4510 | 504,6 | 480,0 | 95,1 |

Tab. 3.4 Porovnání rozdílů hodnot praktického vratného momentu, vypočteného pomocí naměřených šířek a délek otisků pneumatik ze samotné zkoušky otiskem a teoretického vratného momentu vypočteného pomocí vypočtených šířek a délek otisků ze vzorců. Doc. Ing. Šalamouna, CSc., pro jednotlivé pneumatiky, jejich zatížení a tlaky huštnosti

Podle vzorce (1) byl vypočítán nejdříve praktický vratný moment. Za hodnoty d_p a b_p ve vzorci jsem dosadila hodnoty z tabulky 3.2, zjistěné ze samotné zkoušky otiskem. Dále byly do vzorce pro vratný moment dosazeny hodnoty vypočítané ze vzorce pro d_p a b_p , z čehož tedy vznikl teoretický vratný moment. Pro oba výpočty byla za souinitel t mezi pneumatikou a vozovkou dosazována hodnota 1,0, jelikož otáčení pneumatiky probíhalo na podložce z betonu.

Porovnání teoretického vratného momentu a praktického vratného momentu je v tabulce 3.4. Podle tabulky je zřejmé, že moment roste se zvyšujícím se podhuštěním pneumatik a se zvyšujícím se zatížením. Se zvyšováním těchto parametrů tedy roste odpor proti natáčení kolem.

Závislost rozměru pneumatiky a vratného momentu už však lineární není. Ve všech případech zatížení a huštění byl nejvyšší moment u pneumatiky s průměrem ráfku 14 palců nejvyšší a u pneumatiky s průměrem ráfku 15 palců zase nejmenší. Hodnoty momentu nejvyšší z pneumatik s průměrem ráfku 16 palců byly mezi výše popisovanými hodnotami momentu. Na velikosti vratného momentu tak nebudou mít rozměry pneumatiky až tak rozhodující vliv.

Z tabulek je také zřejmé, že hodnoty praktického a teoretického vratného momentu nejsou zcela stejné. Vzorce podle Doc. Ing. Věstmíra Šalamouna, CSc. jsou totiž navrženy obecně pro všechny pneumatiky. Pro naše testované pneumatiky však výpočty teoretických hodnot vycházejí značně poddimenzované. Praktický vratný moment, který ve skutečnosti musí řídící mechanismus překonávat, je mnohem vyšší než jak tomu je u teoretického vratného momentu, do kterého byly dosazovány šířky a délky otisku vypočítané také pouze ze vzorce. Jak je však vidět, tato skutečnost se může lišit podle druhu zatěžujících parametrů, ale také i podle druhu testované pneumatiky. U všech pneumatik je rozdíl v hodnotách, při správném tlaku huštění, nejprve necelých 30%, čím více se však podhuštěním pneumatik zvyšuje tím více se hodnoty momentu k sobě přibližují, v nichž případech jsou si i rovny. Stejně tak se zvyšující se zatěžující silou.

Jak už bylo zmíněno tento princip platí i pro samotné hodnoty šířky a délky otisku. Porovnání vypočítaných hodnot šířky a délky ze vzorce (2) a (3), s naměřenými hodnotami šířky a délky z praktické zkoušky je v příloze 3 (tabulka 1 a 2). Nevýhodu ve vzorci pro šířku otisku (3) vidím hlavně v tom, že jeho výsledná hodnota záleží pouze na samotné šířce pneumatiky a určeného

koeficientu 0,8. Pneumatiky huštěné vzduchem jsou však velmi flexibilní, jejich otisk je závislý na mnoha parametrech, a tak výpočty podle vzorců jsou v nich případech nepřesné. Hodnota délky otisku vypočítaná ze vzorce (2) pak na tyto hodnoty úzce navazuje. Vratný moment po vypočítání s takto získanými parametry otisku už bude určitým způsobem zkreslený.

V příloze 4 jsou pak příklady průběhů bočních sil, vyvolaných hydraulickým válcem pro natožení kol. Tyto křivky naznačují, že z hlediska chování pneumatiky při působení boční síly a jejím následným otáčením, si jsou bližší pneumatika patnácti-palcová a šestnácti-palcová. Trnácti-palcová pneumatika se liší, hlavně v krajních polohách pístu, rozdílnými průběhy sil. Zvýšení boční síly v krajních polohách vysunutí pístu, je důsledkem právě vyšších odporů v koncových polohách natožení kola, jakého je mechanismus schopen.

Pro tuto práci mají však význam velikosti bočních sil pouze v nulové poloze vysunutí pístu, jelikož otisky pneumatik byly také měřeny pouze v nulové poloze, tedy bez natožení kola. Velikosti bočních sil při nulovém vysunutí kola jsou v tabulce 3 v příloze 5. V tabulce je také zaznamenán poměr mezi bočními silami a praktickým vratným momentem, vypočítaným jako v předchozích případech podle vzorce (1) za dosazení šířky a délky otisků změřených při samotné zkoušce otisku. Pro vzorec vratného momentu, navrženého přesně pro naše pneumatiky, by se hodnoty tohoto poměru pro jednotlivé pneumatiky neměly skoro lišit. V našem případě je však velikost odchylek kolem 10 %. Mohou být, ale také důsledkem nepřesností, jako například, že zjištění velikosti bočních sil nebylo přesné v nulových polohách vysunutí pístu, ale o pár desetin milimetru tohoto vysunutí dříve či později. Další odchylky byly v zatížení kola. Jelikož se toto zatížení v průběhu natáčení měnilo plus minus o 0,1 kN, v nulové poloze natožení kola tak nemuselo dosahovat přesně předepsané hodnoty.

4 ZÁVĚR

Otisk pneumatiky je jeden z nejvíce významných parametrů v konstrukci pneumatik, a to z důvodu její důležitosti pro jízdní vlastnosti a chování vozidla v provozu v bec. Mezi konkurujícími si výrobci pneumatik je však tato oblast výzkumu vysoce stěžena a tak článků o problematice se objevuje jen poskromnu. Cílem této práce tedy bylo posouzení vlivu rozsahu parametrů hustění a zatížení na pneumatiku, na oblast styku pneumatiky s podložkou.

Testovány byly tři letní pneumatiky pro osobní automobily s průměrným ráfkem 14, 15 a 16 palců. Tyto pneumatiky byly zatěžovány nejprve nejvyšší hodnotou síly zatížení 4,5 kN, která byla vybrána podle hmotnosti nejlehčího z modelů Škoda Roomster. Postupně pak dalšími třemi silami 4,1, 3,6, 3,3, představujícími 90 %, 80 %, 75 % zatížení z této maximální hodnoty. Při působení zatěžujících sil byly pneumatiky nahustěny nejprve na předepsanou hodnotu hustění 230 kPa, dále se tlak snížil na 180 kPa a poté na 120 kPa.

Jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících velikost otisku pneumatiky je zatěžující síla působící na pneumatiku. Čím větší je zatěžující síla tím více se zvětší i otisk pneumatiky. Dalším velice důležitým parametrem je hustění pneumatiky. Stejně jako se zvětšující se silou, se i se zvětšujícím se podhustněním pneumatiky zvětšuje plocha otisku. Při 50 % podhustnění je plocha tohoto otisku schopná se zvětšit téměř dvojnásobně, oproti otiskům pořízeným za doporučené hodnoty hustění pneumatiky. Takto velké podhustnění může mít také za následek poškození pneumatiky, jelikož u všech pneumatik docházelo při zatížení k velkému vyboulení bočnic. Při větším zatížení se může lámat kostra pláště a patky mohou špatně dosedat na ráfek.

Důležité je však také posouzení významnosti parametrů, které mají za následek zvětšování ploch. Stejně velikosti plochy, pro tutéž pneumatiku, totiž můžeme v určitých situacích, dosáhnout dvěma cestami. V prvním případě, když pneumatiku nahustíme na doporučený tlak a zatížíme určitou větší silou a ve druhém případě, když pneumatiku nahustíme na nižší tlak a zatížíme ji menší silou. Kontaktní plocha pneumatiky bude sice stejná veliká, avšak druhý případ kontaktní plochy bude mít horší vliv na schopnost pneumatiky přenášet všechny potřebné síly z automobilu na vozovku, jelikož tlak v pneumatice je rozhodující parametr pro optimální kontakt pneumatiky s vozovkou.

Ze zde popisované zkoušky otiskem vyplývá, že pneumatiky s v tší ší kou a nižším profilem mají plochu otisku nesporn v tší oproti pneumatikám s menšími rozm ry. Tyto rozm ry pneumatiky však ovliv ují nejvíce tvar plochy otisku. Zejména ovliv ují jak velká ást z obvodu pneumatiky bude v kontaktu s podložkou. trnácti-palcová pneumatika je z testovaných pneumatik nejužší a proto má její otisk nejv tší délku, v ší ce je logicky otisk zase nejužší. Skute nost se potvrdila v celém pr b hu zat žování pneumatiky. Širší pneumatiky tedy naopak disponují širšími plochami otisk , které jsou zna n kratší ve své délce.

V další ásti práce bylo ešení problematiky otisku rozší eno o zkoušku chování pneumatiky p i p sobení bo ní síly, natá ející pneumatiku o úhel . P i takovémto natá ení pneumatiky dochází v kontaktní ploše pneumatiky a podložky ke vzniku vratného momentu, který byl vypo ítán ze vzorce podle Doc. Ing.

estmíra Šalamouna, CSc. Dosazením do vzorce nejprve hodnot velikostí otisk zjišt ných z p edešlé zkoušky otiskem a následn dosazením hodnot velikostí otisk vypo ítáných ze vzorc (dopl ujících práv vzorec vratného momentu), byla posuzována, porovnáním t chto hodnot, p esnost a vhodnost použití t chto vzorc pro výpo et rozm r otisk pneumatik a jejich vratného momentu.

Ukázalo se, že ím více byly pneumatiky podhušt ny a ím v tší zat žující síla na n p sobila, tím více byly výpo ty vratného momentu, s dosazením rozm r otisk vypo ítáných pouze podle vzorc , p esn jší. Stejná souvislost platila i mezi vypo ítánými rozm ry otisk ze vzorc a zm enými rozm ry otisk ze samotné zkoušky otiskem. Hodnocení vzorc Doc. Ing. estmíra Šalamouna, CSc. však probíhalo pouze pro t i zde testované pneumatiky. Pro jiné druhy pneumatik, jiných rozm r , konstrukce a výroby, však mohou být vzorce více i mén p esné.

V pr b hu celé této zkoušky se však také nebralo v úvahu složení sm si, ze které jsou pneumatiky vyrobené. Tvrdost i m kkost sm si p esto m že zna n ovlivnit chování pneumatiky p i p sobení jak zat žující síly, tak bo ní síly. Dalším parametrem s tímto spojeným, který m že ovliv ovat velikost plochy otisku, je radiální a bo ní tuhost pneumatiky. Pro dokonalý obraz a vyhodnocení otisk pneumatik, p ípadn vratného momentu pneumatik p i jejich natá ení, by bylo vhodné rozší it tuto práci o rozsáhlejší poznatky z oblasti výroby testovaných pneumatik, jejich výsledných tuhostí a vlastností. D ležitou sou ástí problematiky ploch otisk je i rozložení tlaku p sobící práv v t chto místech oblasti pneumatiky.

Doufám, že výsledky této práce přispějí k lepší identifikaci vlastností pneumatik v závislosti na daných podmínkách a přispějí tím v konečném důsledku i k větší bezpečnosti provozu.

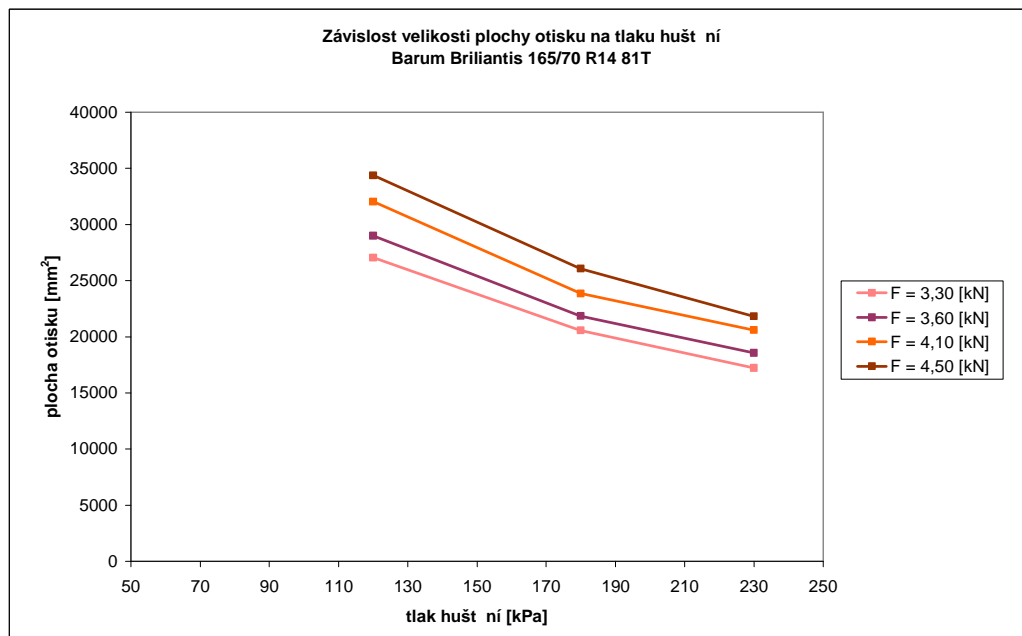
5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VLK, F.: *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*, nakladatelství a vydavatelství vlk, 1. vydání, Brno 2001, ISBN 80-238-6573-0
- [2] DO KAL, V., KOVANDA, J., HRUBEC, F.: *Pneumatiky*, 1. vydání, vydavatelství VUT, Praha 1998, ISBN: 80-01-01882-2.
- [3] MARCÍN, J., ZÍTEK, P.: *Pneumatiky*, Nakladatelství technické literatury, 1. vydání, Praha 1985
- [4] KREJBICH, P.: *Analýza zatížení řídícího ústrojí*, [diplomová práce], KVM - FS, TU v Liberci 2009
- [5] VOŽENÍLEK, R.: *Vysokozdvíhový vozík s bo ním ložením*, [diplomová práce], KVM – FS, TU v Liberci 1998
- [6] <http://www.ika.rwth-aachen.de/>
- [7] <http://www.hbm.cz/>
- [8] <http://www.prodej-pneu.cz/>
- [9] <http://www.tekscan.com/>
- [10] <http://www.maschinenbau.rwth-aachen.de/>
- [11] <http://www.3dgrafika.cz/>
- [12] <http://www.carbibles.com/>
- [13] <http://www.pneu-asistent.cz/>
- [14] <http://www.performancesimulations.com/fact-or-fiction-tires-1.htm>
- [15] <http://www.barrystiretech.com/>
- [16] <http://www.auto.cz/>
- [17] <http://www.tkk.fi/en/>
- [18] <http://www.nokiantyres.cz/>
- [19] <http://cs.autolexicon.net/>

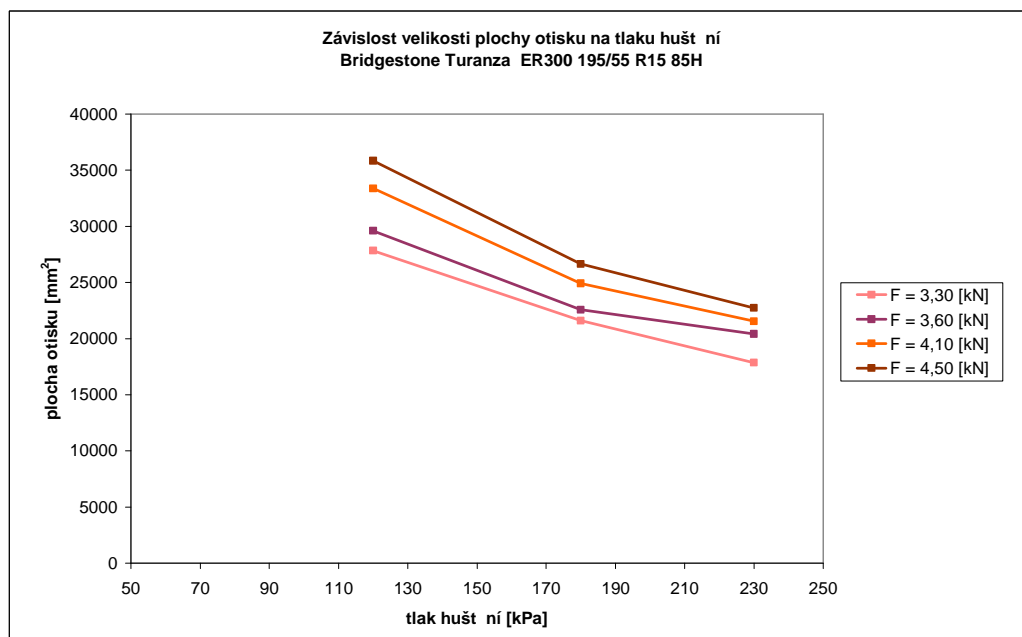
6 P ÍLOHY

P íloha 1

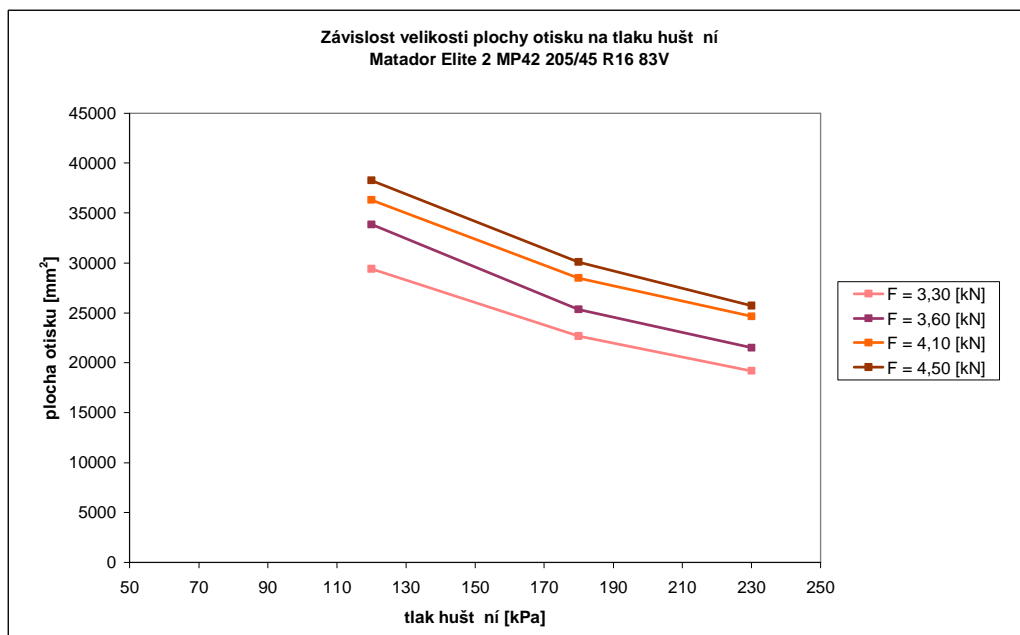
Grafy závislostí plochy otisk na tlaku hušt ní pneumatik



Obr. 1 Graf závislosti velikosti plochy na tlaku hušt ní pro pneumatiku Barum Brilliantis s pr m rem ráfku 14 palc



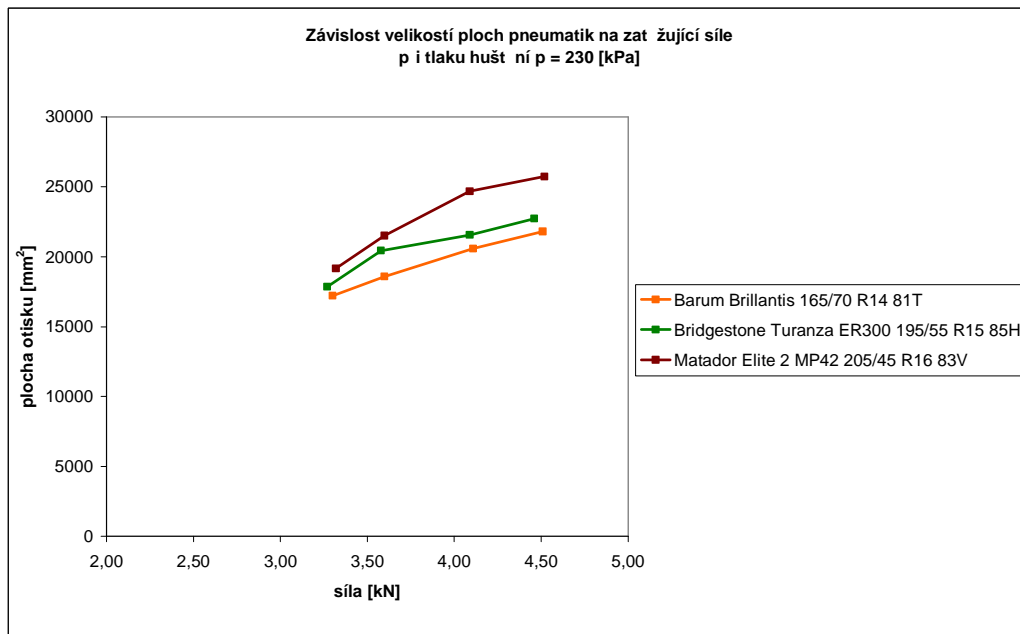
Obr. 2 Graf závislosti velikosti plochy na tlaku hušt ní pro pneumatiku Brigestone Turanza s pr m rem ráfku 15 palc



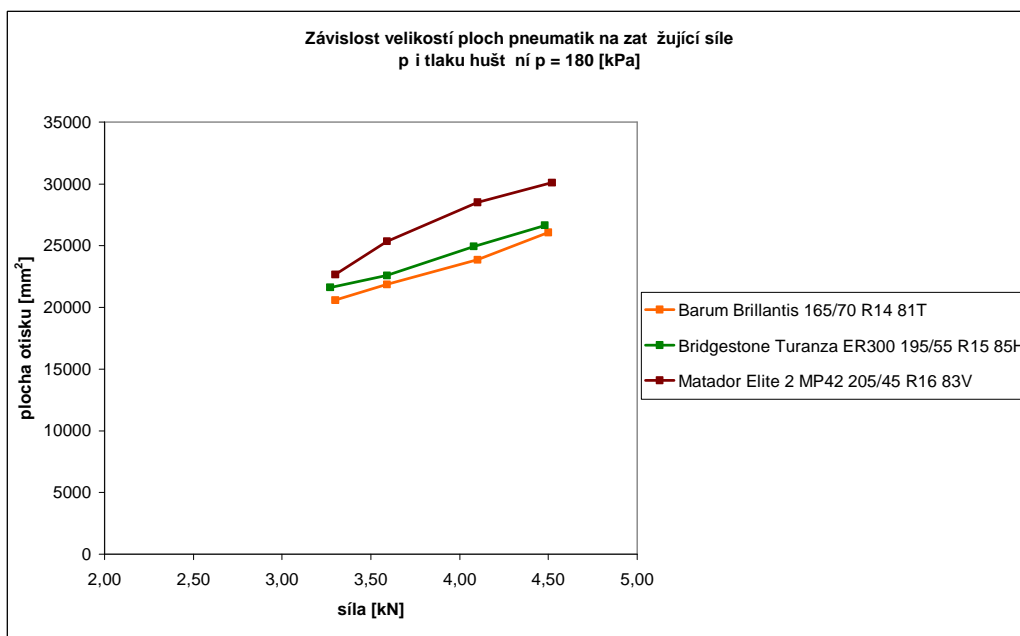
Obr. 2 Graf závislosti velikosti plochy na tlaku hušt ní pro pneumatiku Matador Elite s pr m rem ráfku 16 palc

Příloha 2

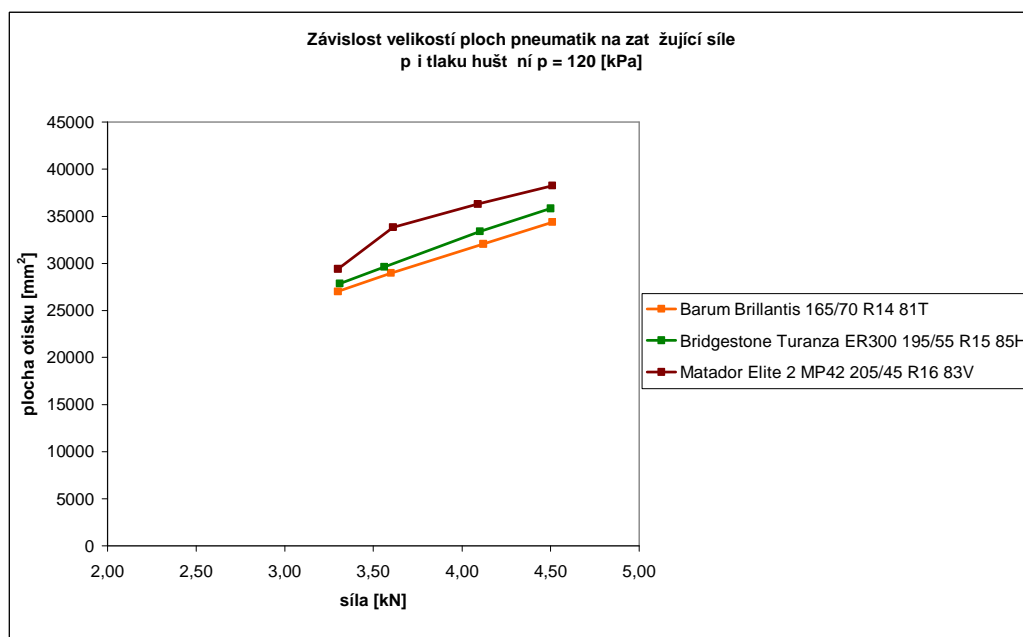
Porovnání jednotlivých pneumatik mezi sebou, z hlediska závislosti velikostí ploch pneumatik na zatěžující síle, pro jednotlivé tlaky huštění.



Obr. 4 Graf porovnávající velikosti ploch všech tří pneumatik v závislosti na zatěžující síle při tlaku huštění $p = 230$ [kPa]



Obr. 5 Graf porovnávající velikosti ploch všech tří pneumatik v závislosti na zatěžující síle při tlaku huštění $p = 180$ [kPa]



Obr. 6 Graf porovnávající velikosti ploch všech tří pneumatik v závislosti na zatížení síle při tlaku $p = 120$ [kPa]

Příloha 3

Tabulka zobrazující hodnoty poměrů mezi délkami otisků změřenými ze samotné zkoušky otiskem a vypočtenými ze vzorců dle Doc. Ing. estmíra Šalamouna, CSc.

| Pneumatika | průměr ráfku ["] | huštiní [bar] | huštiní [Pa] | zatěžující síla [N] | naměřená délka otisku d_{pp} [m] | vypočtená délka otisku d_{pt} [m] | poměr délek d_{pp}/d_{pt} [%] |
|------------------------------------------|------------------|---------------|--------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Barum Brillantis 165/70 R14 81T | 14 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3300 | 0,165 | 0,109 | 151,8 |
| | | | | 3600 | 0,180 | 0,119 | 151,8 |
| | | | | 4110 | 0,193 | 0,135 | 142,6 |
| | | | | 4510 | 0,203 | 0,149 | 136,7 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3300 | 0,191 | 0,139 | 137,5 |
| | | | | 3590 | 0,204 | 0,151 | 135,0 |
| | | | | 4100 | 0,222 | 0,173 | 128,7 |
| | | | | 4500 | 0,242 | 0,189 | 127,8 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3300 | 0,260 | 0,208 | 124,8 |
| | | | | 3600 | 0,272 | 0,227 | 119,7 |
| | | | | 4120 | 0,289 | 0,260 | 111,1 |
| | | | | 4510 | 0,303 | 0,285 | 106,4 |
| Bridgestone Turanza ER300 195/55 R15 85H | 15 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3270 | 0,132 | 0,091 | 144,8 |
| | | | | 3580 | 0,140 | 0,100 | 140,3 |
| | | | | 4090 | 0,150 | 0,114 | 131,6 |
| | | | | 4460 | 0,163 | 0,124 | 131,1 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3270 | 0,153 | 0,116 | 131,4 |
| | | | | 3590 | 0,161 | 0,128 | 125,9 |
| | | | | 4080 | 0,175 | 0,145 | 120,4 |
| | | | | 4480 | 0,183 | 0,160 | 114,7 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3310 | 0,197 | 0,177 | 111,4 |
| | | | | 3560 | 0,206 | 0,190 | 108,3 |
| | | | | 4100 | 0,227 | 0,219 | 103,6 |
| | | | | 4500 | 0,240 | 0,240 | 99,8 |
| Matador Elite 2 MP42 205/45 R16 83V | 16 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3320 | 0,138 | 0,088 | 156,8 |
| | | | | 3600 | 0,141 | 0,095 | 147,7 |
| | | | | 4090 | 0,153 | 0,108 | 141,1 |
| | | | | 4520 | 0,164 | 0,120 | 136,9 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3300 | 0,153 | 0,112 | 136,9 |
| | | | | 3590 | 0,160 | 0,122 | 131,6 |
| | | | | 4100 | 0,179 | 0,139 | 128,9 |
| | | | | 4520 | 0,193 | 0,153 | 126,0 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3300 | 0,203 | 0,168 | 121,1 |
| | | | | 3610 | 0,210 | 0,183 | 114,5 |
| | | | | 4090 | 0,225 | 0,208 | 108,3 |
| | | | | 4510 | 0,240 | 0,229 | 104,7 |

Tab. 1 Porovnání rozdílu hodnot naměřených délek otisků pneumatik ze samotné zkoušky otiskem a vypočtených délek otisků ze vzorců Doc. Ing. estmíra Šalamouna, CSc. pro jednotlivé pneumatiky, jejich zatížení a tlaky huštin

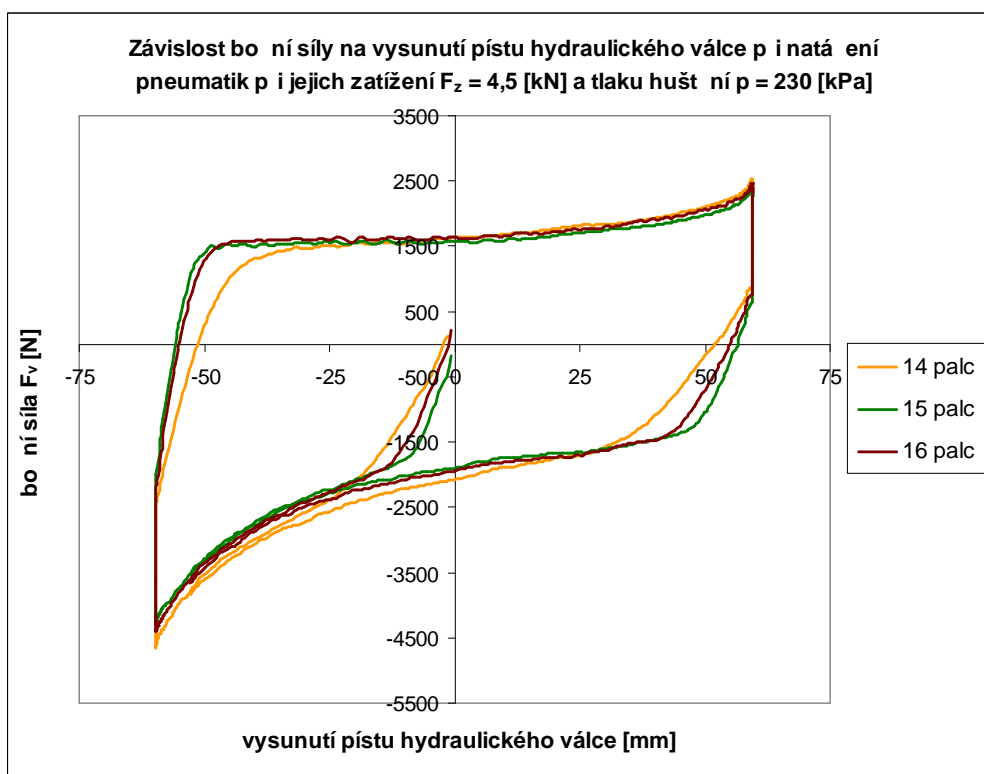
Tabulka zobrazující hodnoty poměrů mezi šířkami otisků změřenými ze samotné zkoušky otiskem a vypočtenými ze vzorců dle Doc. Ing. estmíra Šalamouna, CSc

| Pneumatika | průměr ráfku ["] | huštiní [bar] | huštiní [Pa] | zatěžující síla [N] | naměřená šířka otisku b_{pp} [m] | vypočtená šířka otisku b_{pt} [m] | poměr šířek b_{pp}/b_{pt} [%] |
|------------------------------------------|------------------|---------------|--------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Barum Brillantis 165/70 R14 81T | 14 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3300 | 0,111 | 0,132 | 84,1 |
| | | | | 3600 | 0,115 | 0,132 | 87,1 |
| | | | | 4110 | 0,115 | 0,132 | 87,1 |
| | | | | 4510 | 0,117 | 0,132 | 88,6 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3300 | 0,113 | 0,132 | 85,6 |
| | | | | 3590 | 0,115 | 0,132 | 87,1 |
| | | | | 4100 | 0,115 | 0,132 | 87,1 |
| | | | | 4500 | 0,117 | 0,132 | 88,6 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3300 | 0,113 | 0,132 | 85,6 |
| | | | | 3600 | 0,115 | 0,132 | 87,1 |
| | | | | 4120 | 0,115 | 0,132 | 87,1 |
| | | | | 4510 | 0,115 | 0,132 | 87,1 |
| Bridgestone Turanza ER300 195/55 R15 85H | 15 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3270 | 0,147 | 0,156 | 94,2 |
| | | | | 3580 | 0,151 | 0,156 | 96,8 |
| | | | | 4090 | 0,155 | 0,156 | 99,4 |
| | | | | 4460 | 0,157 | 0,156 | 100,6 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3270 | 0,147 | 0,156 | 94,2 |
| | | | | 3590 | 0,149 | 0,156 | 95,5 |
| | | | | 4080 | 0,149 | 0,156 | 95,5 |
| | | | | 4480 | 0,149 | 0,156 | 95,5 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3310 | 0,151 | 0,156 | 96,8 |
| | | | | 3560 | 0,151 | 0,156 | 96,8 |
| | | | | 4100 | 0,151 | 0,156 | 96,8 |
| | | | | 4500 | 0,154 | 0,156 | 98,7 |
| Matador Elite 2 MP42 205/45 R16 83V | 16 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3320 | 0,161 | 0,164 | 98,2 |
| | | | | 3600 | 0,165 | 0,164 | 100,6 |
| | | | | 4090 | 0,169 | 0,164 | 103,0 |
| | | | | 4520 | 0,173 | 0,164 | 105,5 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3300 | 0,170 | 0,164 | 103,7 |
| | | | | 3590 | 0,170 | 0,164 | 103,7 |
| | | | | 4100 | 0,170 | 0,164 | 103,7 |
| | | | | 4520 | 0,173 | 0,164 | 105,5 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3300 | 0,170 | 0,164 | 103,7 |
| | | | | 3610 | 0,175 | 0,164 | 106,7 |
| | | | | 4090 | 0,175 | 0,164 | 106,7 |
| | | | | 4510 | 0,175 | 0,164 | 106,7 |

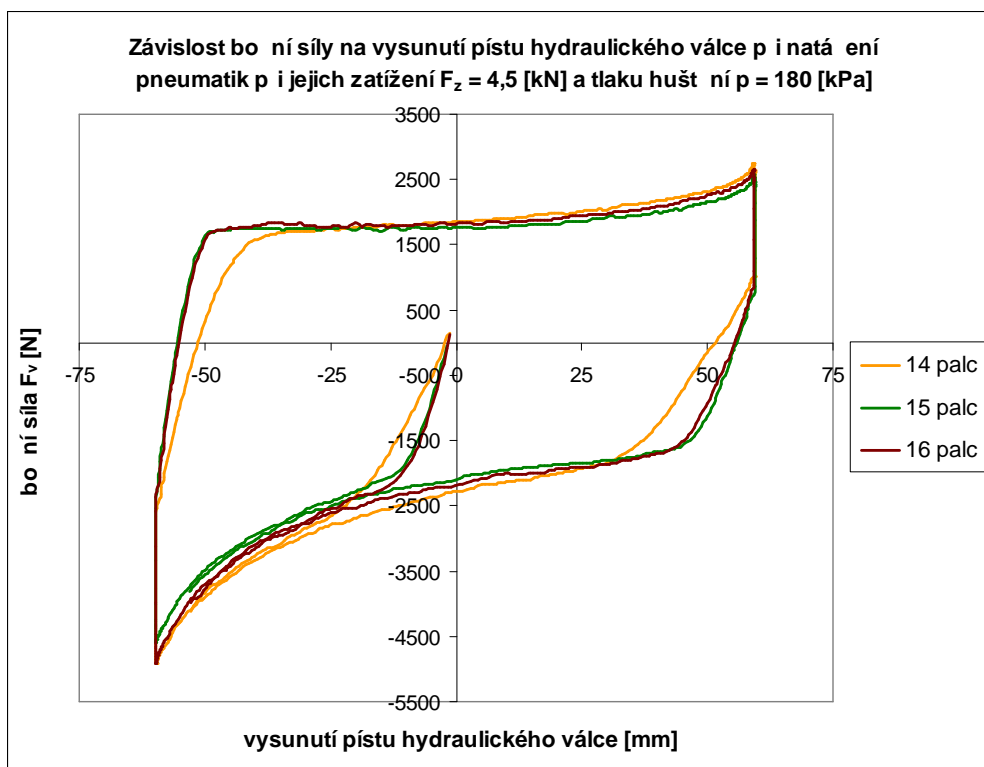
Tab. 2 Porovnání rozdílů hodnot naměřených šířek otisků pneumatik ze samotné zkoušky otiskem a vypočtených šířek otisků ze vzorců Doc. Ing. estmíra Šalamouna, CSc. pro jednotlivé pneumatiky, jejich zatížení a tlaky huštiní

Příloha 4

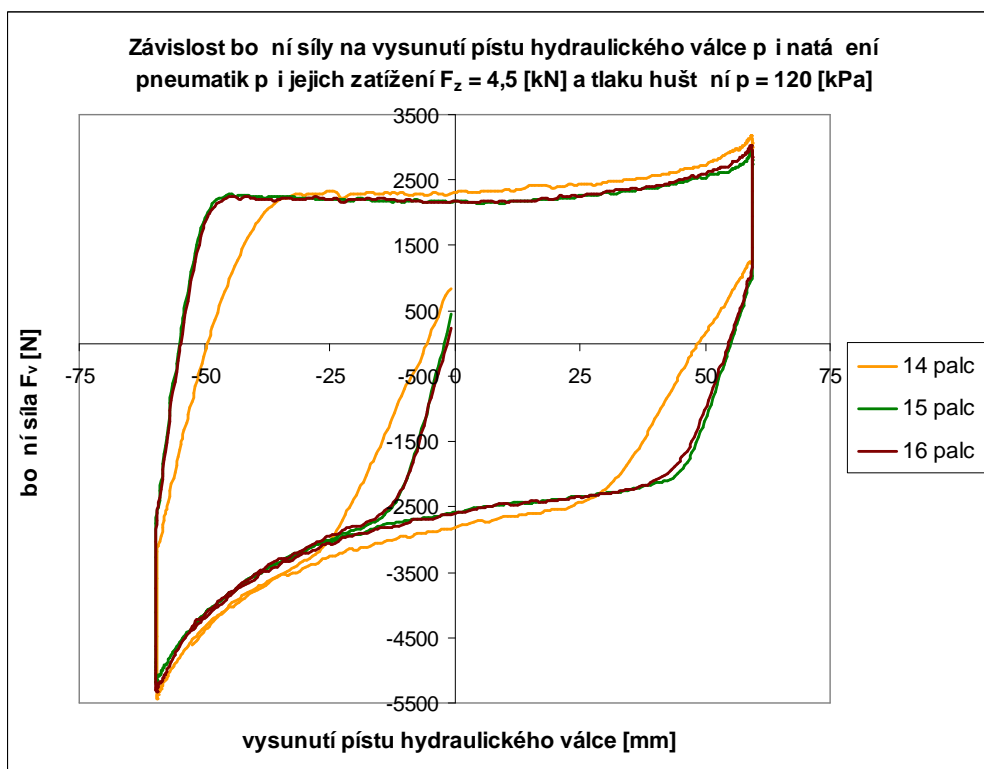
Průběh boční síly při natáčení pneumatik pomocí hydraulického zařízení



Obr. 7 Graf závislosti boční síly na vysunutí pístu hydraulického válce při natáčení pneumatik při jejich zatížení $F_z = 4,5$ [kN] a tlaku huštění $p = 230$ [kPa]



Obr. 8 Graf závislosti boční síly na vysunutí pístu hydraulického válce při natáčení pneumatik při jejich zatížení $F_z = 4,5$ [kN] a tlaku huštění $p = 180$ [kPa]



Obr. 9 Graf závislosti boční síly na vysunutí pístu hydraulického válce při natáčení pneumatik při jejich zatížení $F_z = 4,5$ [kN] a tlaku huštění $p = 120$ [kPa]

Příloha 5

Tabulka zobrazující hodnoty poměrů bočních sil a praktického vratného momentu

| Pneumatika | průměr ráfku ["] | huštiní [bar] | huštiní [Pa] | zatěžující síla [N] | boční síla F_{v+} [N] | boční síla F_{v-} [N] | poměr F_{v+}/M_{vp} | poměr F_{v-}/M_{vp} |
|------------------------------------------|------------------|---------------|--------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Barum Brillantis 165/70 R14 81T | 14 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3300 | 1118,1 | -1295,4 | 4,5 | -5,2 |
| | | | | 3600 | 1251,8 | -1508,3 | 4,2 | -5,1 |
| | | | | 4110 | 1424,9 | -1784,3 | 4,0 | -5,0 |
| | | | | 4510 | 1634,6 | -2078,1 | 4,0 | -5,1 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3300 | 1243,1 | -1433,6 | 4,4 | -5,1 |
| | | | | 3590 | 1369,2 | -1603,2 | 4,2 | -4,9 |
| | | | | 4100 | 1460,0 | -1907,8 | 3,6 | -4,8 |
| | | | | 4500 | 1847,5 | -2285,0 | 3,9 | -4,8 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3300 | 1529,4 | -1726,4 | 4,2 | -4,7 |
| | | | | 3600 | 1690,2 | -2002,8 | 4,0 | -4,8 |
| | | | | 4120 | 1957,8 | -2409,2 | 3,9 | -4,8 |
| | | | | 4510 | 2306,5 | -2821,3 | 4,0 | -4,9 |
| Bridgestone Turanza ER300 195/55 R15 85H | 15 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3270 | 1149,3 | -1264,9 | 5,2 | -5,7 |
| | | | | 3580 | 1247,8 | -1416,5 | 4,9 | -5,5 |
| | | | | 4090 | 1420,2 | -1695,5 | 4,6 | -5,5 |
| | | | | 4460 | 1570,2 | -1898,0 | 4,4 | -5,3 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3270 | 1210,7 | -1325,5 | 4,9 | -5,4 |
| | | | | 3590 | 1361,3 | -1557,5 | 4,8 | -5,5 |
| | | | | 4080 | 1608,4 | -1888,4 | 4,7 | -5,5 |
| | | | | 4480 | 1767,2 | -2115,8 | 4,5 | -5,4 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3310 | 1504,7 | -1654,7 | 4,9 | -5,4 |
| | | | | 3560 | 1708,5 | -1904,9 | 5,0 | -5,6 |
| | | | | 4100 | 1955,5 | -2367,3 | 4,6 | -5,6 |
| | | | | 4500 | 2190,0 | -2583,4 | 4,5 | -5,3 |
| Matador Elite 2 MP42 205/45 R16 83V | 16 | 2,3 (100%) | 230 000 | 3320 | 1178,8 | -1285,3 | 4,9 | -5,4 |
| | | | | 3600 | 1295,1 | -1465,2 | 4,9 | -5,5 |
| | | | | 4090 | 1464,9 | -1722,6 | 4,6 | -5,4 |
| | | | | 4520 | 1641,8 | -1946,0 | 4,4 | -5,2 |
| | | 1,8 (75%) | 180 000 | 3300 | 1274,8 | -1408,9 | 4,9 | -5,4 |
| | | | | 3590 | 1413,3 | -1598,2 | 4,8 | -5,5 |
| | | | | 4100 | 1641,6 | -1931,7 | 4,5 | -5,3 |
| | | | | 4520 | 1812,0 | -2178,7 | 4,3 | -5,1 |
| | | 1,2 (50%) | 120 000 | 3300 | 1530,3 | -1649,9 | 4,8 | -5,1 |
| | | | | 3610 | 1694,0 | -1910,1 | 4,7 | -5,3 |
| | | | | 4090 | 1894,2 | -2265,0 | 4,4 | -5,2 |
| | | | | 4510 | 2180,8 | -2607,4 | 4,3 | -5,2 |

Tab. 4 Tabulka zobrazující velikost bočních sil při nulovém vysunutí kola. V tabulce je také zaznamenán poměr mezi bočními silami a praktickým vratným momentem, vypočítaným jako v případě podle vzorce (1) za dosazení šířky a délky otisků změřených při samotné zkoušce otisku. Praktický vratný moment je zaznamenán v tabulce 3.4.